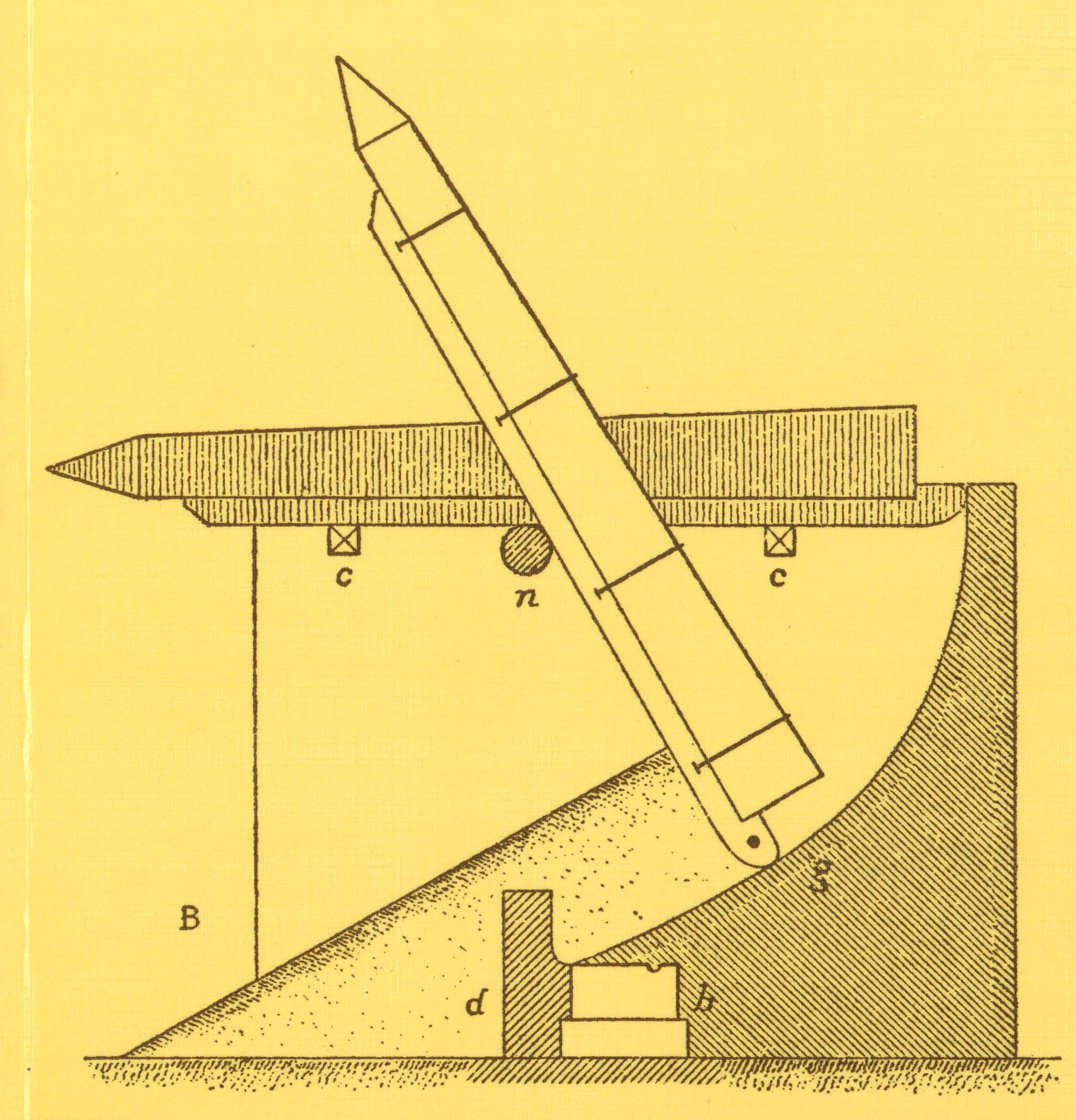
El arte de construir en Egipto

Auguste Choisy



CEHOPU
Centro de Estudios Históricos
de Obras Públicas y Urbanismo

Instituto Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid

Auguste Choisy expone en este libro una descripción sencilla y detallada de los métodos empleados por los antiguos egipcios en la construcción de sus templos y pirámides, así como para la extracción y erección de sus colosos y obeliscos. Los egipcios no conocían la polea ni el torno. Las únicas máquinas simples que emplearon fueron la palanca y el plano inclinado. Con estas limitaciones resulta asombroso que elevaran las enormes columnas y dinteles de sus templos, que pesaban decenas de toneladas. La construcción de las pirámides implicó la maniobra de millones de grandes bloques de piedra. Finalmente, los colosos y obeliscos sobrepasaban con frecuencia las cien toneladas de peso.

Apenas quedan algunas pinturas y bajorrelieves con representación de escenas de construcción o transporte. Hay restos de rampas y herramientas; algunos textos jeroglíficos. Con estos datos, cualquier reconstitución de los antiguos métodos de construcción egipcios ha de ser, necesariamente, hipotética. Choisy expone sus teorías desde un profundo conocimiento de los problemas de la construcción de fábrica, vigente en su época y hoy desaparecida, y una capacidad de análisis y síntesis todavía no superada. El resultado es un libro breve, pero en el que se expone de forma coherente una interpretación muy probable de los procedimientos.

TEXTOS SOBRE TEORÍA E HISTORIA DE LAS CONSTRUCCIONES
Colección dirigida por Santiago Huerta

F. Bores, J. Fernández Salas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Casas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Choisy. **El arte de construir en Roma.**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio.**

A. Choisy. **El arte de construir en Egipto.**

A. Choisy. **Historia de la arquitectura.** (en preparación).

A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. A. Tabales (Eds.). **Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

R. Guastavino. **Ensayo sobre la construcción cohesiva. Función de la fábrica en la arquitectura.**

J. Heyman. **Análisis de estructuras: un estudio histórico.**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras.**

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.**

J. Heyman. **Vigas y pórticos.**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas.**

S. Huerta (Ed.). **Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América.**

S. Huerta (Ed.). **Essays in the History of the Theory of Structures.**

S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the First International Congress on Construction History.**

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII.**

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción.** (en preparación).

H. J. W. Thunnissen. **Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura.** (en preparación).

A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas.**

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval.**

El arte de construir en Egipto

El arte de construir en Egipto

Auguste Choisy

edición a cargo de:
Santiago Huerta
Gema López Manzanares

traducción de:
Gema López Manzanares

INSTITUTO JUAN DE HERRERA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Madrid

CEHOPU
Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo

CEDEX
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
Ministerio de Fomento

Edición y traducción íntegra de la edición original: Auguste Choisy.
L'art de bâtir chez les Égyptiens. París: Rouveyre, 1904.

NIPO: 163-06-011-9
ISBN (Tapa dura): 84-9728-221-3
ISBN (Rústica): 84-7790-425-1
Depósito Legal: M. 48.148-2006
Cubierta: Maniobra para el asiento de un obelisco, tomada del presente libro.
Fotocomposición e impresión: EFCA, S. A. Parque Industrial "Las Monjas
28850 Torrejón de Ardoz

Índice

Prólogo

> Los tratados de arqueología deberían ir precedidos de nociones claras y sustanciales sobre la dinámica y la estática de las construcciones: pesos verticales, trayectorias de esfuerzos, empujes, etc.
>
> J. A. BRUTAILS

Auguste Choisy publica *El arte de construir en Egipto* en 1904. Es el tercero de una serie sobre la historia de la construcción en la Antigüedad. El primero sobre Roma fue publicado en 1873 y el segundo sobre Bizancio en 1883. Habían pasado veinte años y entremedias Choisy había acometido la redacción de su monumental *Histoire de l'architecture* publicada en 1899. Nos dice Choisy en su prólogo, que lo escribe a instancias de Maspero, Director de Antigüedades Egipcias, pero su interés por los métodos egipcios de construcción es patente en la *Histoire*. En esta época estaba ya trabajando en lo que sería su obra póstuma, su edición de *Vitruvio* cuya publicación coincidirá con el año de su muerte, 1909.

Choisy da una exposición sucinta de los procedimientos de construcción de los antiguos egipcios. Su intención no es tanto recopilar y exponer todo los datos de que entonces se disponía sobre el tema, cuanto dar una visión de conjunto de los procedimientos que pudieron haber sido usados, basándose en el estudio de una selección de las ruinas entonces excavadas, que visitó personalmente. Se trata de un problema de interpretación. Los monumentos, por sí mismos, no explican cómo fueron construidos. Su tamaño y constitución sí hablan de una técnica compleja y depurada dentro de las limitaciones de sus conocimientos de la mecánica. En efecto, de las cuatro máquinas clásicas: el plano inclinado, la palanca, la polea y el torno, sólo conocían las dos primeras. Que con esta limitación fueran capaces de mover millones de metros cúbicos de piedra para construir las pirámides o trasladar monolitos que pesaban centenares de toneladas, ha sido siempre una fuente de asombro.

Hoy la arqueología ha avanzado enormemente y los libros recientes de Arnold (1991) o de Goyon et al. (2004) sobre la construcción egipcia tienen un carácter enciclopédico, compendiando e interpretando el fruto de dos siglos de trabajos.

El lector interesado en conocer todos los datos deberá dirigirse a estos libros, que a su vez contienen una bibliografía completa sobre el tema. Pero el que quiera obtener una visión de conjunto de la esencia de los procedimientos, encontrará el libro de Choisy de extraordinaria utilidad.

Ciertamente, a pesar de los avances de la egiptología en el último siglo, muchos temas constructivos permanecen, y posiblemente permanecerán siempre, en el terreno de la especulación. Por ejemplo: ¿Cómo movían los grandes monolitos? Hay algunas pinturas, se conservan algunas herramientas, hay evidencia de la construcción de rampas y han llegado hasta nosotros documentos que refieren expediciones en busca de las grandes piedras. Todo ello no conduce a una única interpretación. Arnold tiene razón cuando dice que sólo avanzaremos en el conocimiento sobre los procedimientos de la construcción egipcia con un estudio comparado de los restos encontrados en los distintos monumentos.

Pero esta interpretación no se podrá hacer sin tener muy presente las leyes de la mecánica: el equilibrio, el rozamiento, las máquinas simples y su rendimiento. Para cualquier constructor, arquitecto o ingeniero, algunas de las teorías sobre los procedimientos que figuran en los modernos manuales producen un cierto desasosiego. No parece que se hayan realizado los cálculos más elementales para comprobar la posibilidad técnica de lo que aparece en los dibujos. Bajar una gran piedra por una rampa de cierta inclinación (digamos un 20-30 %) fue, desde luego, la manera de sacar los bloques de las canteras y llevar los obeliscos de las colinas donde se extrajeron hasta el Nilo. La operación inversa se demuestra imposible en ausencia de tornos y poleas compuestas.

La única interpretación válida de los procedimientos de construcción de los antiguos egipcios será aquella que respete, además de los datos arqueológicos que son la fuente fundamental, la mecánica y racionalidad de los problemas. Algunas cosas son opinables; sobre otras se pueden echar números y acotar los valores de los problemas. El futuro de la Historia de la Construcción pasa por una adecuada preparación técnica de los historiadores. El libro de Choisy presenta una restitución hipotética de los procedimientos realizada con un conocimiento profundo de la historia de las técnicas constructivas y de los problemas de la construcción de fábrica.

SANTIAGO HUERTA

NOTA EDITORIAL: Todas las ilustraciones se han reproducido aproximadamente al mismo tamaño que en el libro original. Las fotografías se han aumentado un 27 %. La división en capítulos y algunos títulos y subtítulos se han modificado ligeramente para adaptarlos a los usos de la tipografía actual.

El arte de construir en Egipto

Prefacio

Cuando los Egipcios erigieron los monumentos de Tebas, apenas conocían el fuego y no disponían más que de máquinas rudimentarias.

Sin embargo, no es sólo a base de brazos como se realizan las maniobras con los obeliscos. Se encontraban en posesión de métodos, sin duda muy diferentes de los nuestros, pero lo bastante potentes como para allanar los obstáculos que a nosotros nos harían vacilar, y suficientemente flexibles como para adaptarse a las múltiples exigencias del arte de la construcción.

Estos métodos se han olvidado en la mayor parte de los casos, pero al menos han dejado su rastro en las ruinas. Nosotros hemos intentado reconstruirlos.

Finalmente, me gustaría señalar que al abordar este trabajo seguimos un consejo del eminente Director de Antigüedades Egipcias, el Sr. Maspero, y para realizarlo hemos necesitado de todo su apoyo. Esperamos que tenga a bien aceptar la expresión de nuestro más vivo reconocimiento.

Auguste Choisy expone en este libro una descripción sencilla y detallada de los métodos empleados por los antiguos egipcios en la construcción de sus templos y pirámides, así como para la extracción y erección de sus colosos y obeliscos. Los egipcios no conocían la polea ni el torno. Las únicas máquinas simples que emplearon fueron la palanca y el plano inclinado. Con estas limitaciones resulta asombroso que elevaran las enormes columnas y dinteles de sus templos, que pesaban decenas de toneladas. La construcción de las pirámides implicó la maniobra de millones de grandes bloques de piedra. Finalmente, los colosos y obeliscos sobrepasaban con frecuencia las cien toneladas de peso.

Apenas quedan algunas pinturas y bajorrelieves con representación de escenas de construcción o transporte. Hay restos de rampas y herramientas; algunos textos jeroglíficos. Con estos datos, cualquier reconstitución de los antiguos métodos de construcción egipcios ha de ser, necesariamente, hipotética. Choisy expone sus teorías desde un profundo conocimiento de los problemas de la construcción de fábrica, vigente en su época y hoy desaparecida, y una capacidad de análisis y síntesis todavía no superada. El resultado es un libro breve, pero en el que se expone de forma coherente una interpretación muy probable de los procedimientos.

TEXTOS SOBRE TEORÍA E HISTORIA DE LAS CONSTRUCCIONES
Colección dirigida por Santiago Huerta

F. Bores, J. Fernández Salas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Casas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Choisy. **El arte de construir en Roma.**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio.**

A. Choisy. **El arte de construir en Egipto.**

A. Choisy. **Historia de la arquitectura.** (en preparación).

A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. A. Tabales (Eds.). **Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

R. Guastavino. **Ensayo sobre la construcción cohesiva. Función de la fábrica en la arquitectura.**

J. Heyman. **Análisis de estructuras: un estudio histórico.**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras.**

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.**

J. Heyman. **Vigas y pórticos.**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas.**

S. Huerta (Ed.). **Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América.**

S. Huerta (Ed.). **Essays in the History of the Theory of Structures.**

S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the First International Congress on Construction History.**

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII.**

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción.** (en preparación).

H. J. W. Thunnissen. **Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura.** (en preparación).

A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas.**

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval.**

El arte de construir en Egipto

El arte de construir en Egipto

Auguste Choisy

edición a cargo de:
Santiago Huerta
Gema López Manzanares

traducción de:
Gema López Manzanares

INSTITUTO JUAN DE HERRERA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Madrid

CEHOPU
Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo

CEDEX
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
Ministerio de Fomento

Edición y traducción íntegra de la edición original: Auguste Choisy.
L'art de bâtir chez les Égyptiens. París: Rouveyre, 1904.

NIPO: 163-06-011-9
ISBN (Tapa dura): 84-9728-221-3
ISBN (Rústica): 84-7790-425-1
Depósito Legal: M. 48.148-2006
Cubierta: Maniobra para el asiento de un obelisco, tomada del presente libro.
Fotocomposición e impresión: EFCA, S. A. Parque Industrial "Las Monjas
28850 Torrejón de Ardoz

Índice

Prólogo

> Los tratados de arqueología deberían ir precedidos de nociones claras y sustanciales sobre la dinámica y la estática de las construcciones: pesos verticales, trayectorias de esfuerzos, empujes, etc.
>
> J. A. Brutails

Auguste Choisy publica *El arte de construir en Egipto* en 1904. Es el tercero de una serie sobre la historia de la construcción en la Antigüedad. El primero sobre Roma fue publicado en 1873 y el segundo sobre Bizancio en 1883. Habían pasado veinte años y entremedias Choisy había acometido la redacción de su monumental *Histoire de l'architecture* publicada en 1899. Nos dice Choisy en su prólogo, que lo escribe a instancias de Maspero, Director de Antigüedades Egipcias, pero su interés por los métodos egipcios de construcción es patente en la *Histoire*. En esta época estaba ya trabajando en lo que sería su obra póstuma, su edición de *Vitruvio* cuya publicación coincidirá con el año de su muerte, 1909.

Choisy da una exposición sucinta de los procedimientos de construcción de los antiguos egipcios. Su intención no es tanto recopilar y exponer todo los datos de que entonces se disponía sobre el tema, cuanto dar una visión de conjunto de los procedimientos que pudieron haber sido usados, basándose en el estudio de una selección de las ruinas entonces excavadas, que visitó personalmente. Se trata de un problema de interpretación. Los monumentos, por sí mismos, no explican cómo fueron construidos. Su tamaño y constitución sí hablan de una técnica compleja y depurada dentro de las limitaciones de sus conocimientos de la mecánica. En efecto, de las cuatro máquinas clásicas: el plano inclinado, la palanca, la polea y el torno, sólo conocían las dos primeras. Que con esta limitación fueran capaces de mover millones de metros cúbicos de piedra para construir las pirámides o trasladar monolitos que pesaban centenares de toneladas, ha sido siempre una fuente de asombro.

Hoy la arqueología ha avanzado enormemente y los libros recientes de Arnold (1991) o de Goyon et al. (2004) sobre la construcción egipcia tienen un carácter enciclopédico, compendiando e interpretando el fruto de dos siglos de trabajos.

El lector interesado en conocer todos los datos deberá dirigirse a estos libros, que a su vez contienen una bibliografía completa sobre el tema. Pero el que quiera obtener una visión de conjunto de la esencia de los procedimientos, encontrará el libro de Choisy de extraordinaria utilidad.

Ciertamente, a pesar de los avances de la egiptología en el último siglo, muchos temas constructivos permanecen, y posiblemente permanecerán siempre, en el terreno de la especulación. Por ejemplo: ¿Cómo movían los grandes monolitos? Hay algunas pinturas, se conservan algunas herramientas, hay evidencia de la construcción de rampas y han llegado hasta nosotros documentos que refieren expediciones en busca de las grandes piedras. Todo ello no conduce a una única interpretación. Arnold tiene razón cuando dice que sólo avanzaremos en el conocimiento sobre los procedimientos de la construcción egipcia con un estudio comparado de los restos encontrados en los distintos monumentos.

Pero esta interpretación no se podrá hacer sin tener muy presente las leyes de la mecánica: el equilibrio, el rozamiento, las máquinas simples y su rendimiento. Para cualquier constructor, arquitecto o ingeniero, algunas de las teorías sobre los procedimientos que figuran en los modernos manuales producen un cierto desasosiego. No parece que se hayan realizado los cálculos más elementales para comprobar la posibilidad técnica de lo que aparece en los dibujos. Bajar una gran piedra por una rampa de cierta inclinación (digamos un 20-30 %) fue, desde luego, la manera de sacar los bloques de las canteras y llevar los obeliscos de las colinas donde se extrajeron hasta el Nilo. La operación inversa se demuestra imposible en ausencia de tornos y poleas compuestas.

La única interpretación válida de los procedimientos de construcción de los antiguos egipcios será aquella que respete, además de los datos arqueológicos que son la fuente fundamental, la mecánica y racionalidad de los problemas. Algunas cosas son opinables; sobre otras se pueden echar números y acotar los valores de los problemas. El futuro de la Historia de la Construcción pasa por una adecuada preparación técnica de los historiadores. El libro de Choisy presenta una restitución hipotética de los procedimientos realizada con un conocimiento profundo de la historia de las técnicas constructivas y de los problemas de la construcción de fábrica.

SANTIAGO HUERTA

NOTA EDITORIAL: Todas las ilustraciones se han reproducido aproximadamente al mismo tamaño que en el libro original. Las fotografías se han aumentado un 27 %. La división en capítulos y algunos títulos y subtítulos se han modificado ligeramente para adaptarlos a los usos de la tipografía actual.

El arte de construir en Egipto

1
Construcción en madera

Egipto tiene gran escasez de bosques. Por ello, los trabajos de carpintería tienen poca relevancia en su arquitectura.

Las maderas

Entre las maderas autóctonas, las más aptas para la carpintería son la acacia y el tamariz. El sicómoro no ofrece ni dureza ni resistencia a la flexión. En cuanto a la palmera, al ser filamentosa, se ensambla mal y se aplasta bajo la acción de las cargas.

Las herramientas

Los útiles no se diferencian mucho de los que podemos encontrar entre los pueblos prehistóricos. Tenemos conocimiento de ellos por las representaciones pictóricas y por los ejemplares que los egipcios ocultaban bajo las primeras hiladas en la base de los edificios. Pero se trata de hojas de bronce, ya que hasta el siglo VI a. C. no se generaliza el uso del hierro.

Para escuadrar los troncos, se utiliza un hacha unida al mango por un ensamble de caja y espiga y atada por una cuerda. Después, para el aserrado, el tronco a trabajar se coloca verticalmente, bien empotrado en el suelo o atado a un pie derecho. Además, un juego de contrapesos (fig. 1) mantiene abierta la hendidura,

atenúa el rozamiento y reduce las pérdidas de energía frenando las oscilaciones.

La mayor parte de los trabajos de carpintería de taller se realizan con azuela o formón y la pieza se coloca sobre dos pies hendidos a modo de banco (pintura en la tumba de Ti). Los agujeros de las clavijas se realizan con la ayuda de una broca accionada por una ballesta y el lijado de las superficies, con gres o piedra pómez.

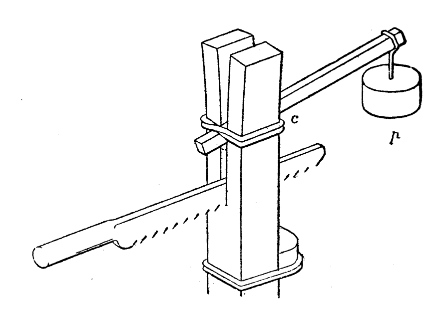


Figura 1
Aserrado de troncos

Los ensambles

Nuestros ensambles en cola de milano, caja y espiga, a media madera o de clavijas empotradas, existen desde las épocas más remotas. Los ejemplos de la figura 2 se han tomado de sarcófagos.

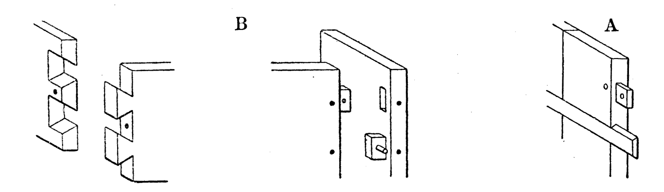


Figura 2
Distintos tipos de ensambles encontrados en sarcófagos egipcios. A. Ensamble de las tablas de un panel; B. Ensamble en ángulo de dos tablones.

Pórticos, terrazas, forjados

El aspecto general de las construcciones de madera se conoce gracias a los restos pictóricos, donde al menos se distingue la disposición de los pórticos exteriores.

Si se dejan aparte los detalles ornamentales, la estructura de estos pórticos se reduce a una serie de soportes que sostienen, por medio de carreras, las viguetas de una terraza. Las tumbas de Beni Hasán ejemplifican esta idea: los pies derechos parecen troncos de árboles hincados en el terreno y las vigas que los rematan están unidas entre sí por medio de zapatas ensambladas (fig. 3, *a* y *c*, representación axonométrica; *a'* y *c'*, interpretación). En Speos Artemidos (*c*), un pie derecho escuadrado retiene, mediante una ensambladura ahorquillada, los extremos de las vigas y la zapata que las une.

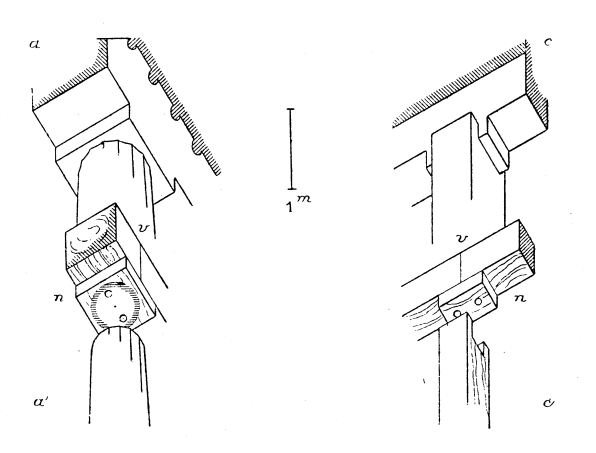
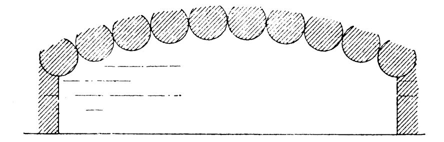


Figura 3
Uniones entre vigas y soportes en pórticos de madera (tumbas de Beni Hasán.)

En los hipogeos encontramos la huella de los techos, que se componen de troncos de palmera yuxtapuestos sobre los cuales se extiende una capa de tierra, y un perfil habitual en arco de círculo que les confiere rigidez (fig. 4). De este

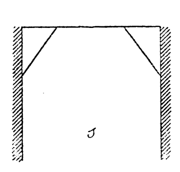
Figura 4
Techos abovedados de troncos en los hipogeos



modo, los rollizos descargan unos sobre otros como las dovelas de una bóveda de cañón y su débil resistencia a la flexión es menos preocupante.

Por otro lado, bajo la bóveda del pozo de la gran pirámide de Sakara se encuentra un forjado cuya estructura, observada por Perring, presenta la disposición de la figura 5, es decir, vigas apoyadas en jabalcones. ¿Podría ser este forjado la plataforma de una cimbra? ¿Se trata de una obra de consolidación colocada de forma urgente para prevenir la ruina de la bóveda? Sea lo que sea, constituye el ejemplo más antiguo que se conoce de una armadura con elementos diagonales, aunque el empleo de tornapuntas también es frecuente en las obras de ebanistería (fig. 6).

Se puede decir entonces que los Egipcios concibieron la idea de las construcciones trianguladas, que vuelven a aparecer hasta la época romana, ya que la información que poseemos sobre las estructuras de madera griegas nos permite concebirlas como un simple apilamiento. Únicamente en Egipto se vislumbra el principio de los elementos diagonales que más tarde será tan fecundo.



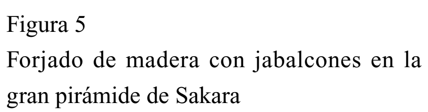
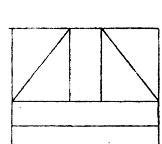


Figura 5
Forjado de madera con jabalcones en la gran pirámide de Sakara



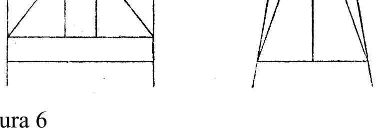


Figura 6
Empleo de tornapuntas en la ebanistería

Armaduras provisionales

Describiremos más adelante, al tratar la organización de las obras, las estructuras de madera empleadas como andamios. El mérito de los constructores fue evitar estas construcciones auxiliares que la escasez de madera hubiera convertido en doblemente costosas.

Construcciones de cañas

A la carpintería se incorporan algunas prácticas vulgares en las que los decoradores se han inspirado y cuya tradición se ha perpetuado hasta nuestros días, es decir, el empleo, a modo de pies derechos, de haces de cañas, de donde deriva uno de los tipos más elegantes de columna egipcia y el uso, a modo de paredes, de hojas de palma yuxtapuestas, recubiertas de un enlucido, donde el extremo flexible de los ramos se sujeta mediante una fila de cañas a modo de riostra: la cornisa en gola.

Construcciones mixtas en madera y ladrillo

Los egipcios dieron con frecuencia a los sarcófagos de granito el aspecto de quioscos calados. Las paredes perforadas de estos pabellones respondían a las

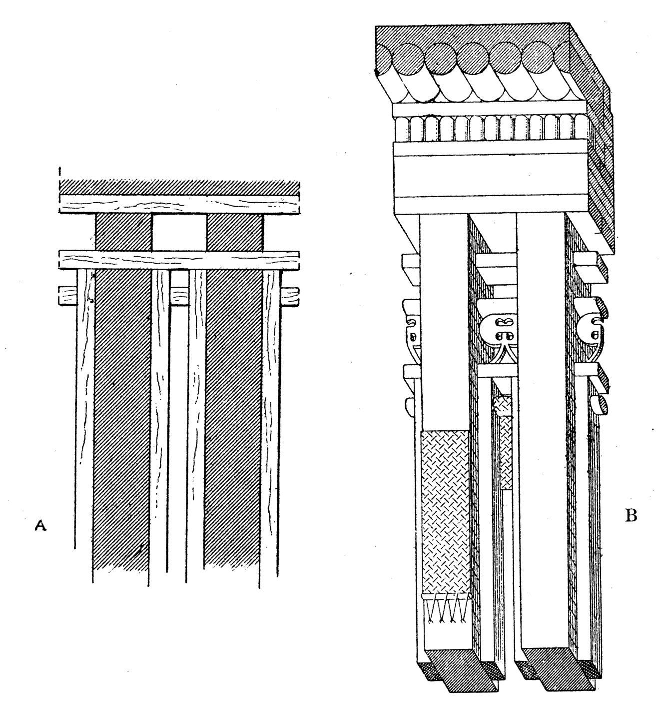


Figura 7
Entramados de madera arriostrados por paños de ladrillo. A. Sarcófago de Khnoufou; B. Tumba de Phtah-Hotep.

mismas necesidades que las celosías de las habitaciones modernas y aparecen reproducidas con detalle sobre los paramentos de las cámaras sepulcrales y, más libremente, en las murallas adornadas con molduras.

Indicamos en la figura 7 la disposición probable de estos entramados. Se pueden observar pies derechos de gran espesor, interrumpidos a distintas alturas por maderos horizontales y acodalados entre maderos verticales. Está claro que todas las piezas pequeñas son de madera, pero, ¿son los pies derechos troncos de árboles escuadrados?

El alto precio de la madera hace poco admisibles soportes tan numerosos y de tan importante escuadría. En realidad, los pies derechos son pilares de fábrica. Confirma esta hipótesis la decoración pictórica (B), consistente en: 1) Bandas horizontales de color que revelan la existencia de una construcción por hiladas. 2) Una estera que recubre la base del montante, tejido superfluo si el montante fuera de madera y casi indispensable si estuviera construido con un material como el adobe.

No estamos en presencia, pues, de un paño de madera, sino de una fábrica arriostrada por un entramado. El núcleo de la construcción es de ladrillo.

2

Construcciones de ladrillo: Generalidades. Muros de lechos horizontales

La arcilla endurecida al fuego empieza a formar parte de los materiales arquitectónicos muy tarde. Hasta la época de Vitruvio los propios romanos emplearon casi exclusivamente ladrillos sin cocer.

Los Egipcios, que disponían de escaso combustible, no sometieron a cocción la tierra más que para aplicaciones completamente excepcionales: en Medinet Habu, un acueducto, y en el templo de Mut en Karnak, la base de un muro que delimitaba un lago. En general, los ladrillos se secaban simplemente al sol.

Por otro lado, las heladas y las lluvias de nuestras regiones erosionan rápidamente los bloques de tierra. En Egipto, esta causa de destrucción no existe. Todas las casas antiguas tienen paredes de arcilla seca y también se construían con ladrillo los muros defensivos, las pirámides e incluso las estancias reales, cuyos restos se conservarían si hubieran sido de piedra.

Modo general de empleo de los ladrillos egipcios

Naturaleza y dimensiones de los ladrillos

El material base es el propio limo del valle del Nilo, al cual normalmente se añade paja desmenuzada, o mejor, los pequeños desechos que resultan de la trilla de

las espigas. Las dimensiones se expresan siempre en pies o fracciones simples de pie:

– En Karnak, el pie habitual es, en cifras redondas, de 0,36 m. Las medidas son 1 pie de largo, ½ de ancho y 2/5 de espesor.
– En Elkab, el mismo tipo de ladrillo, salvo quizá un valor ligeramente mayor de pie.
– En Dendera, el pie parece ser de 0,39 m, con 1 pie de largo, ½ de ancho y ¼ de espesor.
– En las galerías abovedadas del Ramesseum, los gruesos ladrillos de los muros son parecidos a los de Dendera. Los ladrillos ligeros de las bóvedas provienen del pie de 0,36 m y sus dimensiones son 1 pie de largo, ½ de ancho y 1/6 de espesor.

Asiento sobre lechos de mortero

Para el asiento se emplea un mortero fabricado con el mismo material que los ladrillos, esto es, tierra con mezcla de paja o sin ella. El espesor de esta capa arcillosa apenas pasa de 1 cm. Por otro lado, hay muros donde sólo se rellenan los lechos, quedando vacías las juntas verticales (fig. 8, ruinas de Assasif).

Asiento sobre lechos de esparto

Frecuentemente, antes de extender el mortero, se esparce paja de esparto sobre el lecho recién terminado, e incluso se llegan a entretejer los tallos (fig. 8). La introducción de rastrojos entre las hiladas es útil por muchas razones. En primer lugar, los ladrillos son frágiles y, en caso de asiento, el lecho vegetal cede e impide que se partan. Por otro lado, las fibras se colocan siempre en dirección transversal al muro, es decir, resisten, al modo de las varillas metálicas de nuestras construcciones armadas, los esfuerzos que tenderían a deshojar el muro. Por último, la paja actúa como un drenaje que impide a la fábrica impregnarse de humedad. Las juntas verticales, cuando no se rellenan, sirven para completar la desecación.

Asiento sobre lechos de arena

Algunas veces se dispone arena entre los lechos. La arena reparte muy bien las cargas, es decir, sobre un terreno húmedo y sujeto a asentamientos, no sólo drena la

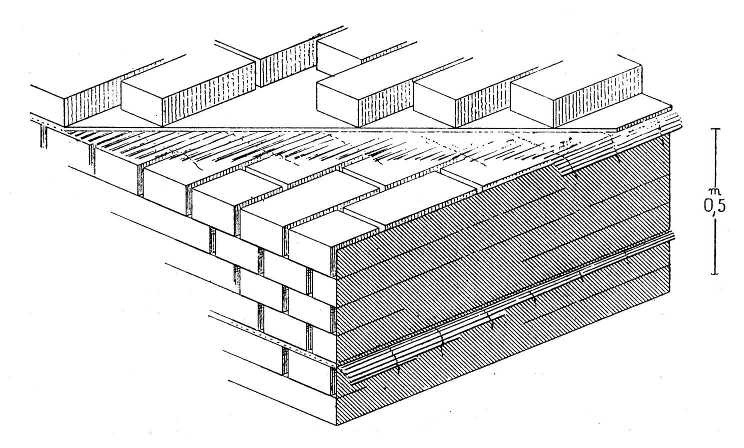


Figura 8
Muros con lechos de mortero sobre paja de esparto (Ruinas de Assasif)

fábrica, sino que además le otorga una flexibilidad que le permite deformarse sin romperse. Así se construyeron las pirámides de ladrillo de Dahshur y de Hawara.

Grado de humedad de los ladrillos

Una pintura asocia el lugar de fabricación de los ladrillos con el de su puesta en obra, esto es, la tierra, obtenida *in situ*, es trabajada a pie de obra, ya que los bloques, moldeados a medida que se iban necesitando, no pueden estar completamente secos al ser colocados. Este estado semihúmedo responde a las características de Egipto, donde el terreno se empapa de agua durante las crecidas y los ladrillos varían de volumen según las estaciones. Es conveniente, pues, colocarlos con un volumen medio.

La construcción de ladrillo y el tapial

Tal como se muestran en esta primera introducción, los muros de tierra son verdaderas fábricas construidas a base de bloques de tamaño regular, metódicamente dispuestos. Se podría preguntar quizá si no hay en esta estructura una complicación superflua, y si no hubiera bastado con apisonar la tierra dentro de encajonados de madera. Pero el limo del Nilo está sujeto a fuertes retracciones y las capas de tapial se agrietarían al contraerse.

Los métodos egipcios y los caldeos

En Asiria, los constructores adoptaron un término medio. El montículo sobre el que se levantaba el palacio de Khorsabad está formado por pellas de arcilla yuxtapuestas en estado húmedo, material plástico que se empleaba sin mortero y, gracias a las juntas, se contraía sin agrietarse.

No obstante, el sistema que más se asemeja al egipcio es el caldeo. Así, las murallas de Babilonia son apilamientos de ladrillo donde el asfalto desempeña el mismo papel que las capas de tierra, y los lechos de cañas embebidas en él se corresponden con las esteras que los egipcios disponían entre las hiladas. Si el método egipcio tiene influencias asiáticas, es con los procedimientos caldeos con los que parece más estrechamente emparentado.

Muros de ladrillo con lechos horizontales

Los montículos que revelan la ubicación de las ciudades egipcias están compuestos prácticamente de restos de casas de ladrillo construidas sobre las ruinas de otras anteriores. Estas modestas construcciones son una aplicación pura y simple de los procedimientos que acaban de describirse. Sin embargo, en el caso de los enormes muros de fortificación entraban en juego las exigencias de la organización de obras, así como los efectos de dilatación y contracción que las alternancias de humedad y sequedad determinan en las masas arcillosas. Los muros defensivos se clasifican, pues, en dos tipos constructivos bien distintos: por lechos horizontales y por lechos ondulados. Examinemos, en primer lugar, los de hiladas horizontales.

Ausencia de cimentación

En ocasiones, los egipcios dispusieron en las fábricas de ladrillo un zócalo de materiales más resistentes, pero jamás, por lo que sabemos, intentaron asentarlas sobre las capas profundas del terreno.

En efecto, sería completamente inútil excavar para alcanzar un firme sólido, ya que el limo de la superficie no se diferencia en nada del que una excavación pondría al descubierto. Se contentaban entonces con limpiar el terreno y después, probablemente, consolidarlo por riego y, con toda seguridad, por apisonado.

El signo jeroglífico que se traduce por “cimentar, replantear un recinto”, representa un terraplenador que maneja un pisón. Para los egipcios, cimentar significaba regularizar el terreno y asegurar, mediante apisonado, un incremento en su resistencia.

Aspecto de las fábricas

La fábrica de la lámina X está construida por capas de ladrillos colocados de plano, interrumpidas por verdugadas de ladrillos de canto. La figura 9 muestra una disposición de los materiales que parece particular de este tipo de muros: la construcción por hiladas transversales, *c*. En las fábricas así construidas casi nunca se observan los mechinales de los parales o puentes.

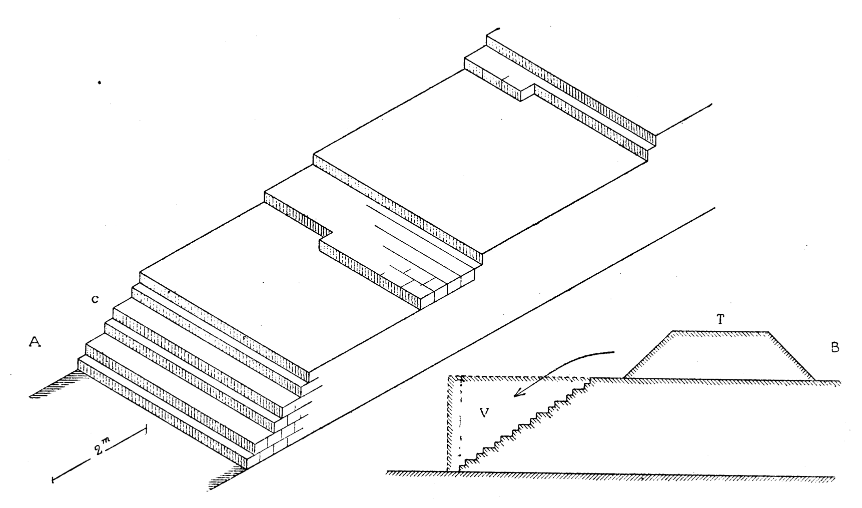


Figura 9
Muro de ladrillo construido por hiladas transversales

Modo de ejecución sin andamios

La ausencia de parales revela una motivación económica muy natural en un país con escasez de madera, que hace suponer una construcción ejecutada sin andamios. La disposición de los materiales concuerda con esta hipótesis. Al estar las hiladas de ladrillo colocadas en dirección transversal, no hay nada más sencillo

que levantar el muro por gradas como la *c*. Estas gradas son escaleras pensadas para los porteadores que acarreaban los ladrillos.

Sistemas de protección de las gradas

El peligro reside en el posible agrietamiento, por el tránsito, de las fábricas todavía frescas. Si es preciso, se protegen con tablas, como parece indicarlo una pintura donde se distingue un muro en construcción por gradas y maderos inclinados sobre éstas. Se evitan de este modo los golpes, y se transforma la escalera en una rampa más cómoda.

Algunas veces simplemente se esparce arena sobre los lechos destinados a la circulación, aunque las esteras ofrecen la mejor de las garantías (p. 10). En lo posible, el tránsito se realiza sobre las verdugadas de ladrillos de canto, que corren menos riesgo de agrietarse y normalmente se cubren de arena.

Eliminación final de las gradas

Llegamos a la etapa final de la construcción. El muro se encuentra en el estado que indica el croquis B, es decir, queda un vacío triangular en forma de V. ¿Cómo rellenar este hueco sin recurrir a un andamiaje?

La solución es inmediata. Existen escalones y, por tanto, se pueden aprovechar para almacenar en T, sobre el remate del muro, los materiales destinados a rellenar el hueco V y después hacerlos volver a descender. Habrá que realizar con estos materiales T una doble maniobra de ascenso y descenso, pero, en un régimen donde la mano de obra no supone coste, esta opción es preferible a la instalación de un andamiaje.

Detalles y variantes: diversos tipos de enrase

Los ejemplos siguientes aclaran los detalles de la construcción. El fragmento de la figura 10 A (Abydos, Chounet-ez-Zezib) corresponde punto por punto con la descripción realizada anteriormente: juntas alineadas transversalmente y enrases con ladrillos de canto. Las figuras 10 B y 11 muestran las variantes más frecuentes.

En el recinto del patio de Ombo (fig. 11 *c*), los ladrillos de enrase se colocan de plano y en diagonal. A lo largo de los muros de Asuán (fig. 11 *a*, *a'*, *b*) se pre-

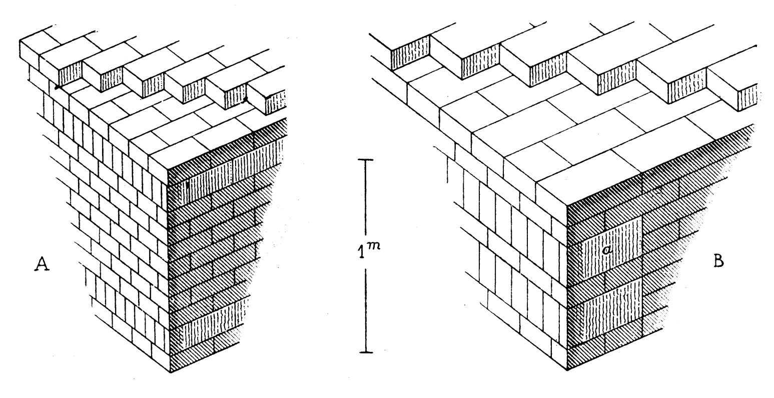


Figura 10
Detalles de la construcción de muros sin andamios. A. Abydos, Chounet-ez-Zezib; B. Galerías del Ramesseum

sentan tanto de canto (*b*), como inclinados (*a'*), con distinta pendiente para mantener la horizontalidad de los lechos que separan.

Muros con revestimiento decorativo

El grueso muro de la fortaleza de Abydos (fig.11 *m*, lám. X), está revestido por un paramento decorativo apilastrado *n*. Ahora bien, la trabazón de esta fábrica

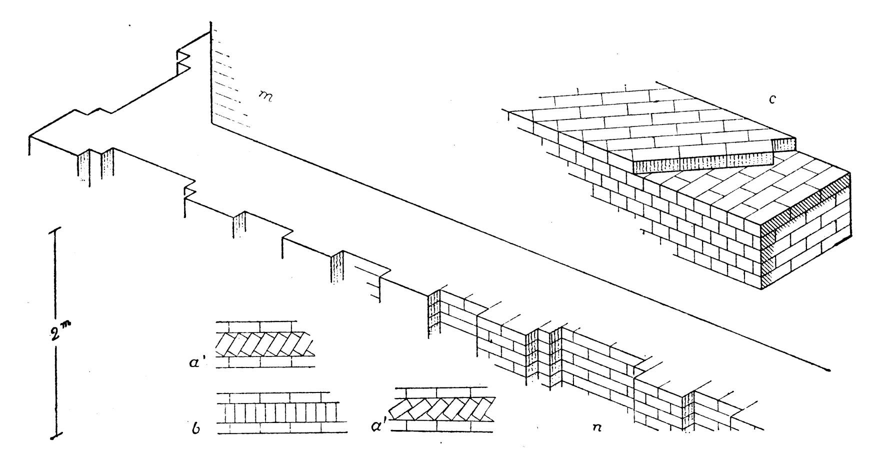


Figura 11
Paramento apilastrado adosado al muro de la fortaleza de Abydos

ornada habría obstaculizado la marcha general de la obra. Por eso, fue ejecutada de forma separada y probablemente con más lentitud, es decir, está yuxtapuesta al núcleo, sin ninguna ligazón.

En las galerías del Ramesseum (fig.10 B) los paramentos *a* presentan un cierto refinamiento ornamental y también son independientes del cuerpo de las fábricas.

Muros con cadenas

En algunos muros con lechos horizontales, en particular en la fortaleza de Semné, se distinguen maderos, o incluso troncos de árboles embebidos en la fábrica. Filón de Bizancio explica que la función de estos largueros, que se empotraban en los muros, era aminorar el impacto de las máquinas de guerra. Los constructores modernos que han conservado la tradición los consideran un medio para amortiguar las sacudidas de los terremotos. Una función secundaria era servir de ligazón, o lo que es lo mismo, de encadenados poco expuestos a la pudrición en un clima como el de Egipto.

Muros con núcleo de tierra o mampostería

El rectángulo fortificado de Elkab está atravesado por una muralla transversal con un interés defensivo muy secundario (lám. IX, 2). Esta muralla, en lugar de estar constituida por una fábrica de ladrillos, se reduce a un basamento macizo, dos paramentos de ladrillo, y entre ambos, un núcleo de relleno. Por otra parte, a lo largo de los muros de los desfiladeros de Asuán se contentaron con un único paramento, siendo el núcleo un apilamiento de mampuestos de granito oculto tras una fábrica de ladrillo.

Esquinas levantadas

Cuando el muro está adosado al terreno, en otras palabras, cuando actúa como muro de contención, se inclina y se da a sus lechos una pendiente normal a la del paramento (fig. 12A). Esta circunstancia no cambia en nada la organización de la obra ni la disposición habitual de las hiladas, pero en el encuentro de dos muros, ¿cómo se unen los lechos inclinados?

Sería deseable evitar la arista *x.* Así, se sustituye ésta (diagrama B) por un acuerdo sin discontinuidades: desde *a* hasta *b,* los lechos son planos; desde *b*

hasta R se curvan formando una superficie asimilable a un cono con vértice en *s*. Esta superficie corta a los paramentos según arcos que se elevan desde *b* hasta R. Por esa razón, estos lechos tienen los extremos levantados que se observan claramente en el antiguo recinto del convento copto de Abydos. Cuando se reemplaza el ángulo *x* por una superficie curva, debe aparecer la elevación R. Es una consecuencia de este modo de acuerdo y no tiene, en cuanto al principio, nada en común con la construcción ondulada que se estudia a continuación.

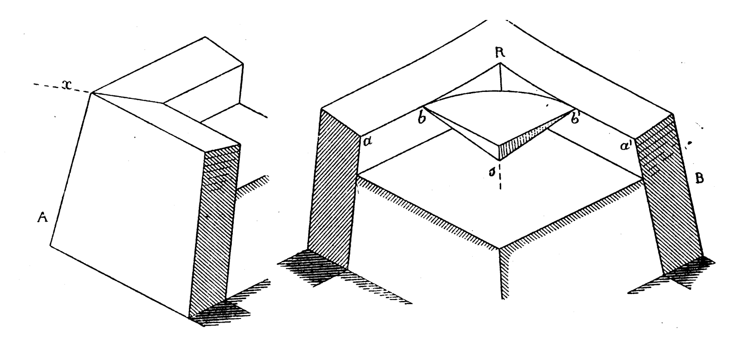


Figura 12
Detalle del encuentro en esquina de los muros de ladrillo inclinados

3

Construcciones de ladrillo: Muros de ladrillo con lechos ondulados

Parece que en una buena construcción las hiladas de un muro deben estar a nivel, pero los egipcios derogaron esta regla cuando levantaron los recintos amurallados de Karnak, Elkab, Dendera, File y Ombo. Aquí las hiladas no son ni horizontales ni continuas. La superficie de los lechos (láms. I-VIII) sufre hundimientos y elevaciones de forma alternada, esto es, el muro se compone de tramos rehundidos de dos en dos.

Estos dos tramos nunca se traban entre sí. Siempre existe una junta bien marcada que los separa, como si la fábrica hubiera sido cortada con una sierra. ¿Podrían ser estas extrañas ondulaciones un simple efecto del asiento? Para descartar esta hipótesis basta contemplar las fotografías de la lámina I, donde las curvas se dibujan sobre un basamento de piedra cimentado directamente sobre roca. El ejemplo que estudiaremos a continuación (fig. 13, recinto de Karnak) reúne todas las particularidades del sistema.

Los hechos: Descripción de la construcción

Tipo general

Perfil longitudinal: El perfil longitudinal del muro presenta una sucesión de ondas desiguales, unas cóncavas A y otras C, convexas. Las ondas cóncavas A tienen también un mayor desarrollo y una curvatura más acentuada.

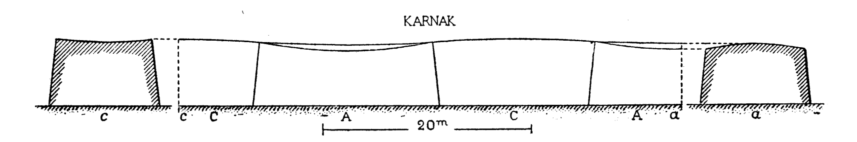


Figura 13
Alzado y sección transversal del muro con lechos ondulados del recinto de Karnak

PERFIL TRANSVERSAL: Si cortamos transversalmente la onda rehundida A, obtenemos una curva convexa *a,* reconocible en las fotografías de la lám.VI 1 y V 1. Además, el perfil varía según la zona que se esté considerando, de donde resulta una superficie no cilíndrica que, por así decirlo, tiene forma ensillada.

La perspectiva de la figura14 permite hacerse una idea. La curvatura transversal máxima corresponde al punto más bajo de la onda, que se encuentra en *z.* Después, de *z* a *x*, la sección se va haciendo cada vez más rebajada. En *x* la curvatura desaparece y de *x* a *v* cambia de signo.

Datos numéricos

Estas indicaciones se pueden precisar con cifras.

- Longitud de los tramos: La longitud de la onda convexa oscila entre la mitad y 4/5 de la longitud de la cóncava.
- Perfil de borde: En la parte cóncava, la relación entre flecha y cuerda horizontal raramente desciende por debajo de 1/25. En la parte convexa, esta relación apenas supera el valor de 1/30.
- Perfil transversal: En *z*, la flecha del perfil transversal llega a ser algunas veces igual a 1/20 de la cuerda. En *v*, es prácticamente inapreciable.

Naturaleza de las curvas y resaltos en planta

Sería ilusorio pretender definir curvas tan tendidas a partir de esas medidas. Explicaremos más adelante las hipótesis en favor de un trazado catenario. Raramente el tramo convexo mantiene la alineación de los tramos cóncavos. Aquél se retranquea, mientras éstos sobresalen.

Aspecto del paramento

El paramento presenta normalmente una pendiente, más o menos acusada, próxima al 10%. Este paramento no es en absoluto una superficie plana, sino que su traza sobre el terreno describe una línea ligeramente curva, que se distingue en A, fig. 14, es decir, el tramo se acorta en su zona central. Veremos que este estrechamiento es una consecuencia inmediata y necesaria de la forma ensillada de los lechos.

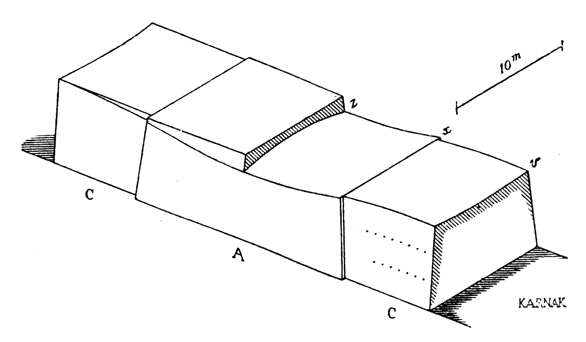


Figura 14
Detalle en perspectiva de la superficie ensillada de los tramos cóncavos en el muro del recinto de Karnak

Resumen de las disposiciones generales

Antes de seguir adelante, resumimos las características más sobresalientes de esta descripción general: muro dividido en tramos desiguales y separados entre sí por planos transversales *x* (fig. 14); un tramo de cada dos se rehunde y presenta una forma ensillada *zx*, con lechos cóncavos en sentido longitudinal y convexos en sentido transversal; en el tramo intermedio, un ensillado inverso, es decir, perfil longitudinal convexo y perfil transversal cóncavo.

Variantes

En la práctica este tipo comporta simplificaciones. La más usual consiste (fig.15) en eliminar la curvatura del tramo convexo, es decir, intercalar entre dos tramos

cóncavos y ensillados, un tramo recto, generalmente muy corto. Se trata de la variante de la figura 15.

Esta variante, así como la disposición habitual de la figura 14, se encuentra en Karnak y en Elkab. En Karnak (láms. III-IV) el que predomina es el tipo normal y en Elkab (láms. V-VII), el simplificado. En File (láms. I y II 1), en Ombo (lám. IX 1) y en Dendera, es posible encontrar tramos de lechos horizontales y tramos con lechos rehundidos. Pero las hiladas cóncavas, en lugar de presentar una forma ensillada, son simplemente cilíndricas (fig. 16).

Citamos, por último, como simplificaciones o derivados del tipo normal, las murallas de Kom es Sultan en Abydos, que consisten (lám. VIII 2) en largos paños interrumpidos de vez en cuando por tramos rehundidos, y el muro de la corte de Edfú (fig. 16), donde subsisten los planos de separación *x*, así como la desigualdad de los tramos alternos, pero en los que la ondulación solamente aparece en el remate, en las últimas hiladas añadidas.

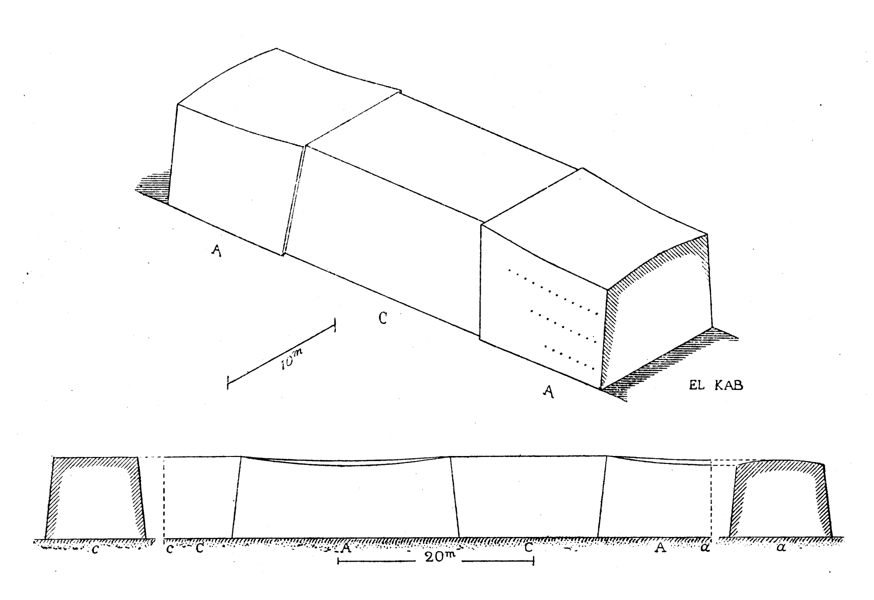


Figura 15
Muro con tramos cóncavos ensillados alternados con tramos horizontales

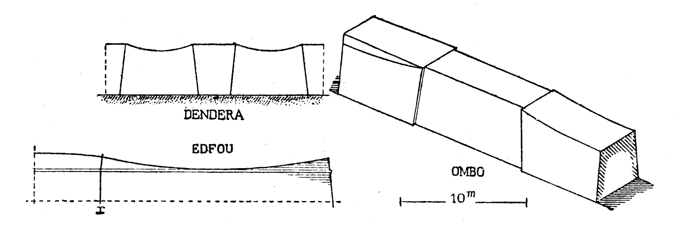


Figura 16
Muro con tramos cóncavos cilíndricos alternados con tramos horizontales

Aparejo de los ladrillos

En todos los muros con lechos ondulados, los ladrillos presentan el mismo tipo de aparejo, y este tipo es el inverso del que hemos observado (p. 13) en los muros de lechos horizontales.

La figura 17 permite comparar ambos tipos de aparejo. Los ladrillos de muros horizontales A están alineados por filas transversales; los de los muros ondulados B se disponen siempre por filas paralelas al eje, a soga en una hilada y a tizón en la siguiente.

En los muros a nivel, los enrases con ladrillos de canto eran la norma. En los de lechos ondulados, sólo aparecen de forma excepcional.

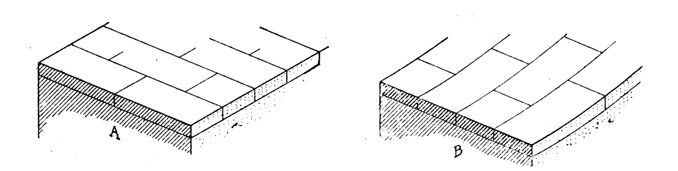


Figura 17
Aparejo del ladrillo en los muros de lechos horizontales (A) y ondulados (B)

Detalles constructivos

HILADAS DEL ARRANQUE: Las murallas de Esné y del templo de Moret en Karnak se elevaban sobre diques, mientras que las del templo de File descansa sobre un

basamento de piedra. Sin embargo, las fábricas de ladrillo crudo asientan, en general, directamente sobre el terreno, aunque con un ligero desmonte en la zona de los tramos rehundidos.

Véase el aspecto de la excavación y el arranque de las fábricas (fíg. 18). La excavación es ensillada como los lechos que descansarán sobre ella. Las primeras hiladas CB tocan el terreno en sus extremos y el situado por debajo es limo apisonado, siendo de ladrillo solamente la parte emergente B (franjas sombreadas).

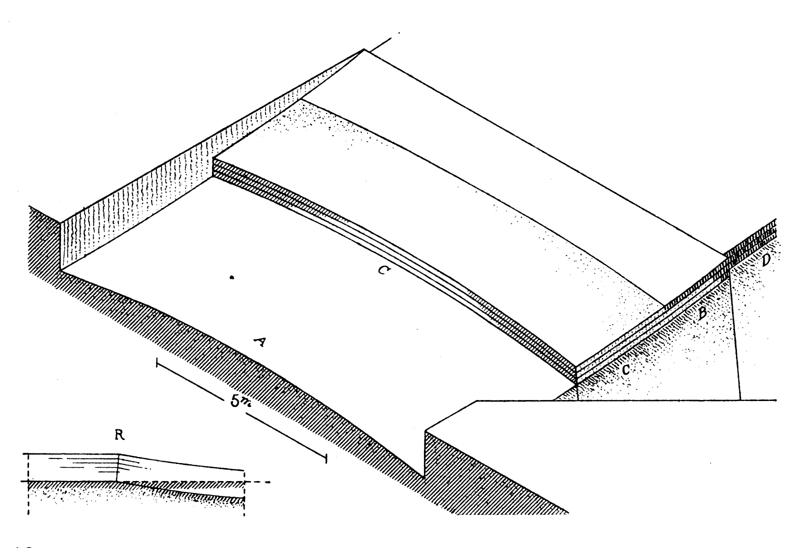


Figura 18
Forma ensillada del terreno excavado bajo los muros con lechos ondulados

Aristas: Como ya hemos dicho, los tramos cóncavos sobresalen. La regularidad de la arista está asegurada entonces (fig.19 *c*, Karnak) por un encadenado en esquina, o bien (variante *a*, Elkab) por una adaptación del aparejo. En un caso (*a*), se juega con el espesor de las juntas y en el otro (*c*), las incorrecciones del aparejo se trasladan al encadenado de la arista.

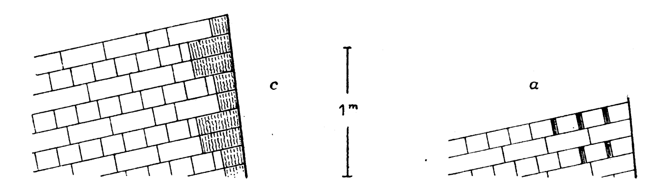


Figura 19
Detalle de las aristas de los tramos cóncavos en Elkab (*a*) y Karnak (*c*)

Indicios del empleo de andamiajes

Mientras que las fábricas de lechos horizontales parecen haber sido ejecutadas sin andamiajes, las murallas onduladas de Karnak y de Elkab conservan la huella de estructuras de madera auxiliares, es decir, mechinales con fragmentos de viguetas (fig. 14, p. 21, fig. 15, p. 22). Estas viguetas, siempre de palmera sin escuadrar, se colocan normalmente cada dos pies. Los tablones siguen el movimiento ondulado de los lechos y se escalonan de 6 en 6 pies.

Reconstrucción de la obra

Si se juzga por las limitaciones que impone la complejidad de las formas, el sistema ondulado parece una concepción poco práctica. Sin embargo, la complicación es sólo aparente. Si la excavación se realiza según la superficie ensillada de los lechos, la primera hilada de ladrillos se adapta a las ondulaciones del terreno, la segunda se amolda a la primera y así, sucesivamente. Toda dificultad desaparece entonces si se cuenta con un método sencillo para dar a la excavación esa forma ensillada que reproducen las hiladas.

Métodos de replanteo

TRAZADO DE LAS CURVAS: Las pinturas nos muestran a obreros que se sirven de cordeles tendidos a modo de reglas. Admitamos que se haya utilizado un cordel colgante en la figura 20. Las curvas cóncavas A, B serán entonces las catenarias determinadas por la flexión del propio cordel.

En cuanto a las curvas convexas, éstas también se obtendrán con dicho cordel. Bastará (croquis C) con invertir las ordenadas y así, si α es la ordenada de la catenaria cóncava, –α será la de la catenaria invertida.

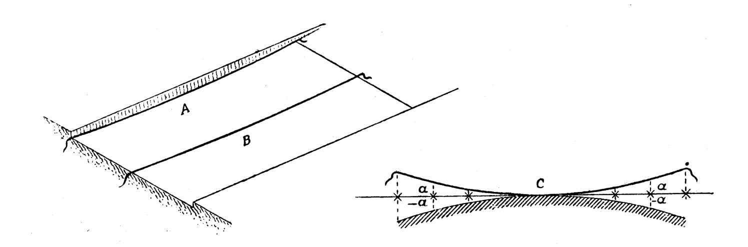


Figura 20
Replanteo de las curvaturas en los muros de lechos ondulados con un cordel colgante

Ejecución de la superficie ensillada de la excavación: Admitido este punto de partida, el replanteo de la excavación es inmediato. Basta para ello guiarse, como se acaba de decir, de un cordel colgante, cuya tracción se hará variar según la flecha deba ser más o menos grande

Ejecución de la superficie ensillada de los lechos. Conveniencia de la disposición de los ladrillos por hiladas longitudinales: Si se pudiera asegurar la uniformidad del espesor de las hiladas, la forma ensillada de la excavación se transmitiría sin alteraciones de un lecho a otro y la forma de disponer los ladrillos sería indiferente. Sin embargo, es prudente asegurarse de que los errores no se acumulen. Dicho de otro modo, de vez en cuando, hay que repetir el replanteo con el cordel. Este control implica que los ladrillos se alinean según la dirección del cordel. De ahí, sin duda, la preferencia por la disposición en hiladas paralelas al eje (p. 23).

Arranque de las hiladas: Se levantan en primer lugar (fig. 21A) las hiladas de ladrillo *n* que constituyen el núcleo de la fábrica. Con este arranque la construcción continúa avanzando desde el centro hacia los extremos, sin más preocupación que la de verificar la continuidad del trazado. Sólo con que el núcleo de

arranque *n* se eleve en talud, el paramento del muro adopta por sí mismo la inclinación conveniente.

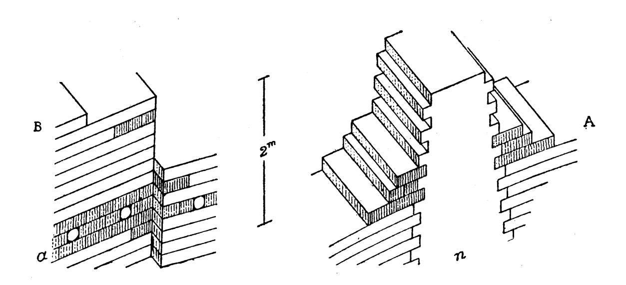


Figura 21
Núcleos de arranque de las hiladas de los muros con lechos ondulados

Consecuencias del procedimieto

IRREGULARIDADES EN LA CURVATURA DE LOS LECHOS: Sólo en casos excepcionales se obtendrá con el cordel una sucesión de curvas idénticas. Incluso en los zócalos aparejados de File, la falta de ajuste es sensible (lám. II 1).

IMPOSIBILIDAD DE PARAMENTOS PLANOS: Desde el momento en que las hiladas son ensilladas, el paramento del muro no puede ser plano. Imaginemos (fig. 22) las secciones transversales *x*, *x'*, *x"*. Estas secciones son arcos *c*, *c'*, *c"*, de flechas desiguales, pero todas con igual desarrollo, puesto que contienen el mismo número de ladrillos. Los espesores del muro medidos en *x*, *x'*, *x"*, no son sino las cuerdas de estos arcos *c*, *c'*, *c"*. Donde la flecha es mayor, la cuerda debe ser menor. Por tanto, el tramo debe encogerse en el centro. De ahí, el estrechamiento que se observa en todos los tramos ensillados de Karnak y de Elkab (fig. 14, p. 21, fig. 15, p. 22).

NECESIDAD DE ANDAMIAJES: Por último, al estar los ladrillos dispuestos en filas longitudinales, no se puede reservar espacio en la fábrica para los escalones que permitirían subir los materiales sin instalaciones auxiliares (p. 13). Se debe recurrir entonces a los andamiajes o, si no, al menos, a rampas de servicio.

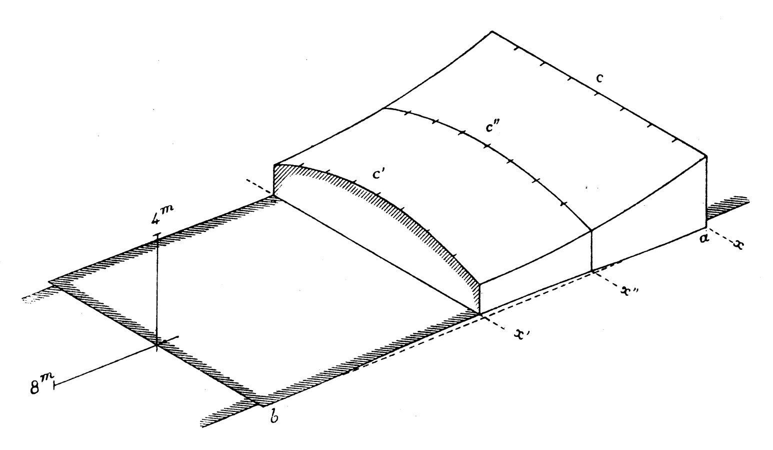


Figura 22
Espesor variable en los muros con lechos ensillados

Los andamiajes

PLATAFORMAS: Las figs. 23 y 24 muestran un andamiaje reconstruido a partir de la localización de los mechinales. El intervalo de 6 pies entre niveles es el que utilizamos en la actualidad y corresponde a la estatura de un hombre, pero las plataformas se adaptan a la ondulación de los lechos, es decir, la distancia del terreno a la primera varía de forma continua (fig. 24 E). En el punto más alto, esta distancia es igual a un intervalo normal, es decir, 6 pies y en el punto más bajo, como en ciertos tramos de Karnak y Elkab, se reduce a 2 ½ pies.

Por otro lado, al ser escasa la madera, es probable que las propias vigas se reutilizaran de un nivel a otro. Las de File, por ejemplo, fueron arrancadas y los huecos se rellenaron con piedra (lám. I). Pero esta extracción puede producir una sacudida y fue prohibida por los constructores de Elkab y de Karnak, que serraban, entonces, la madera a ras del paramento dejando el extremo embebido en la fábrica, donde aún puede encontrarse.

RAMPAS DE ACCESO: Es posible que los andamiajes de Karnak estuvieran comunicados por rampas provisionales. En Elkab existen rampas permanentes independientes del cuerpo del muro y construidas por lechos inclinados, lo que permitía darles altura a voluntad (fig. 24, lám. VII).

Figura 23

Andamiajes para la construcción de los muros con lechos ondulados

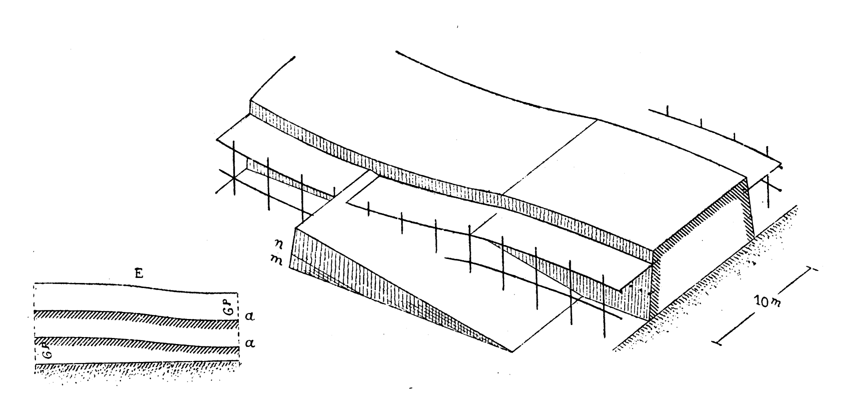


Figura 24

Rampas permanentes de acceso a los andamiajes de los muros de Elkab

Observaciones sobre la organización de las obras

EXISTENCIA DE UN TAJO POR TRAMO: A través de los huecos descarnados de Elkab, pueden verse hiladas de ladrillos con matices claramente diferenciados que se interrumpen en el límite de los tramos (fig. 21B, p. 27). Esta brusca interrupción demuestra que se constituyó un tajo distinto para cada tramo, con aprovisionamiento individual y funcionamiento autónomo.

DIVERGENCIAS EN LOS PROCEDIMIENTOS. CORRECCIONES: La independencia de los responsables de estos tajos se manifiesta en la variedad misma de los procedimientos que adoptan. Así, en Karnak, los lechos son, tanto de tierra, como de tierra y esparto, pero en algunos tramos el esparto se emplea simplemente como enrase, mientras que en Elkab sólo aparece en el ángulo NO del recinto. Los enrases con ladrillo de canto también se disponen de forma muy distinta según los tramos y, en cuanto a las juntas, unas son delgadas y se rellenan, pero otras son anchas y sin relleno.

Por otro lado, estas diferencias podrían hacer muy imperfecto el empalme entre los tramos. Por eso, se suprime todo acuerdo y se salva la transición por un resalto en planta, o lo que es lo mismo, una discontinuidad donde las irregularidades escapan a la vista (p. 21).

LA DIVISIÓN DEL TRABAJO: He aquí entonces la distribución del trabajo. En cada tramo, un equipo distinto, y en cada equipo, reparto de tareas entre una cuadrilla de albañiles que dan comienzo a la obra (p. 27), y una cuadrilla de peones que ejecutan el grueso de la fábrica, con jefes de la maestría suficiente en los métodos empleados como para responsabilizarse del éxito de la obra.

No hay conflictos entre cuadrillas. Los retrasos, los problemas de abastecimiento en un tramo no repercuten en el conjunto. Todo está organizado para proceder con un ritmo rápido y sin trabas. Es, con 2000 años de antelación, el espíritu de orden que reinará en las obras romanas.

Ensayo de explicación de los lechos ondulados

Hemos expuesto los hechos y descrito la forma ondulada de los lechos y los procedimientos que permitieron construir dicha forma. Vamos ahora a intentar remontarnos a las razones que llevaron a adoptarla.

La influencia de las aguas subterráneas

Sobre las colinas, donde el terreno está siempre seco, prácticamente sólo se encuentran muros sin ondulaciones, por ejemplo, en las murallas de los desfiladeros de Asuán, las de los montículos de Semné y Koummé o las de las fortalezas que coronan las cumbres de Abydos.

Por el contrario, las murallas onduladas se encuentran generalmente en lugares muy próximos a zonas con filtraciones procedentes de las crecidas y sólo se puede citar como excepción el recinto amurallado de Deir el-Medinah. En Elkab o en Karnak, el nivel de las crecidas coincide prácticamente con la base de las murallas. En Esné, los antiguos muros de tierra se levantaban sobre diques de la altura suficiente para evitar el alcance del río (lám. II 2). Dendera, File y Ombo apenas sobresalen sobre las aguas desbordadas. Abydos presenta, junto a los muros con lechos horizontales de sus dos fortalezas, murallas construidas en el valle. Sólo las de la planicie presentan ondulaciones.

Así pues, cuando las filtraciones de agua constituyen una amenaza, aparece el sistema ondulado. ¿No podría ser éste entonces un correctivo de la influencia que la proximidad de la capa freática puede ejercer sobre materiales esencialmente higrométricos?

Durante las horas de calor, la humedad subterránea penetra en las fábricas en forma de vapor. Durante el frío de la noche, se condensa entre los ladrillos, dilatándolos y lubrificándolos, el muro se dilata y las superficies de los lechos se vuelven jabonosas.

Además, si el terreno no está perfectamente nivelado, hay que temer, independientemente de las presiones internas debidas a la dilatación de los ladrillos, los efectos del deslizamiento en bloque. Esto es, el muro se comportará como esas colinas de arcilla, que a la más mínima presencia de humedad, se desplazan arrastrando y destruyendo, a su paso, todo obstáculo.

Efectos del deslizamiento

La longitud de las murallas, que a veces alcanzan un desarrollo de 500 m, se debe adaptar a los desniveles del terreno. Es necesario, pues, garantizar la estabilidad para que ésta no dependa de las irregularidades del suelo, y la estructura ondulada ofrece esas garantías.

UTILIDAD DE LA ONDULACIÓN: Consideremos uno de los tramos (fig. 25). Si éste se apoya sobre un plano inclinado (A), deslizará en el sentido de la pendiente. Si rehundimos la base (A´), el movimiento se detiene. Un muro ondulado no es otra cosa entonces, que un paño interrumpido a intervalos más o menos próximos por tramos cóncavos, estables, donde se amortigua el esfuerzo debido al descenso de los tramos rectos (fig. 26). Es decir, el muro se engrana, se agarra al terreno con una especie de dientes de sierra, y en el núcleo del muro, una hilada se encaja sobre las contiguas.

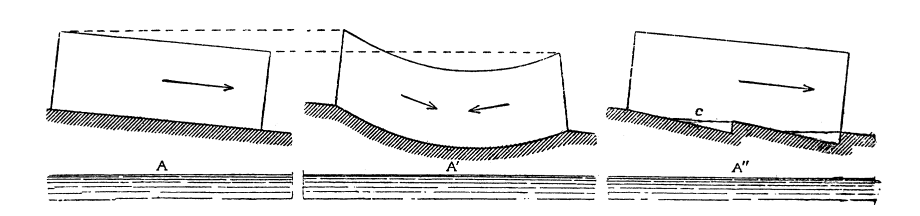


Figura 25
Influencia de la forma de los lechos en el deslizamiento de los muros sobre el terreno

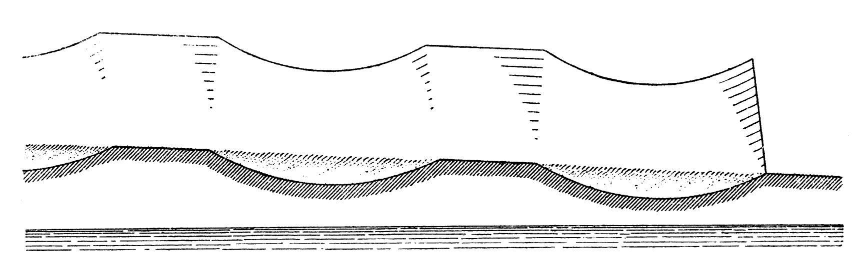


Figura 26
Detalle del apoyo sobre el terreno de los muros con lechos ondulados

Por otro lado, sería inútil intentar librarse de las limitaciones que imponen los lechos curvos sustituyéndolos por una estructura con redientes (fig. 25 A″), ya que éstos se quebrarían. En cuanto al drenaje (p. 11), éste no puede impedir más que los deslizamientos entre los lechos. En resumen, si el terreno presenta una pendiente en sentido longitudinal, el perfil ondulado se impone.

El papel de los tramos convexos: Sea M (fig. 27) un perfil obtenido, como acabamos de describir, intercalando tramos convexos de "acuñado" *a* entre paños de muro *c, c′,* que siguen la pendiente natural del terreno. El paño inclinado *c* ejerce sobre el tramo cuña *a* un empuje F, peligroso si la pendiente es pronunciada. Pero se puede evitar este peligro. Basta (fig. 28) con sustituir los tramos rectos *c, c′*, por tramos convexos tales como C o C′. El empuje F queda reemplazado así por un esfuerzo *f*, algo menor que la mitad. Y no solamente el empuje se reduce, sino que aparece un esfuerzo simétrico *f ′* que equilibra sensiblemente el esfuerzo *f*.

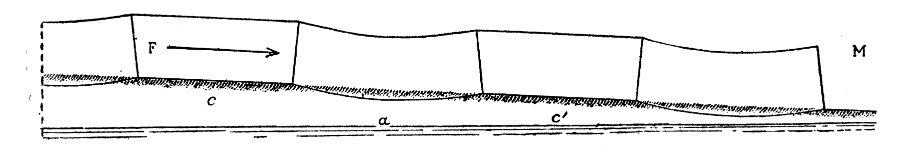


Figura 27
Empuje producido por los tramos rectos en los muros sobre terreno en pendiente

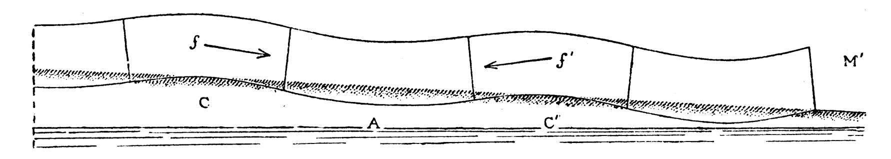


Figura 28
Ventajas de los tramos convexos frente a los rectos en los muros sobre terreno en pendiente

Detalles del trazado.

En cuanto a los detalles del trazado, para que el esfuerzo *f* se reduzca lo más posible, importa:

1º Que el paño C tenga poco desarrollo;

2º Que su convexidad se limite a lo estrictamente necesario.

Esta doble condición se cumple en los muros construidos siguiendo el sistema ondulado, ya que los tramos convexos son siempre más cortos que los tramos cóncavos y tienen mayor radio de curvatura (p. 21).

Perfiles mixtos.

Sin embargo, la convexidad sólo es realmente útil en terrenos con fuerte pendiente. Los recintos amurallados de Elkab y Karnak presentan, según la inclinación de las pendientes, tanto tramos convexos como simples paños rectos (fig. 29, láms. III 1 y V 2).

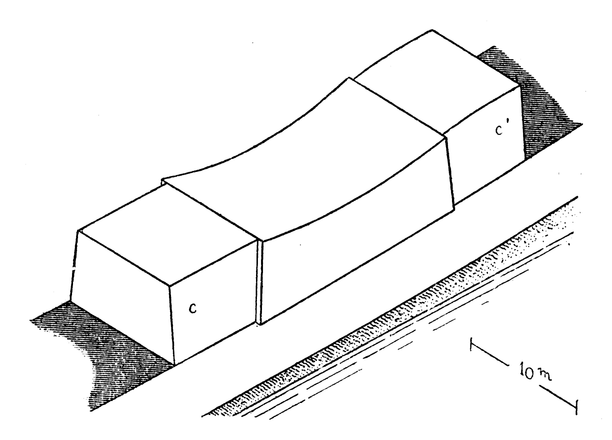


Figura 29

Muros mixtos con tramos rectos o convexos según la pendiente del terreno

Efectos del hinchamiento del suelo

Un muro cuyas ondulaciones se encajan en el terreno puede considerarse protegido del peligro de deslizamiento. Pero el problema no termina ahí. Hay que tener

en cuenta la naturaleza higrométrica de los materiales arcillosos, que varían de volumen con las alternancias de humedad y sequedad.

Consideremos, en primer lugar, las épocas de hinchamiento, cuando las aguas subterráneas se aproximan a la base de los muros.

UTILIDAD DEL ENSILLADO: Al impregnarse de humedad, la fábrica se hincha y, si es ondulada, corre el riesgo de sufrir flexiones *f* acompañadas de fracturas (fig. 30 A). Cuanto más pronunciada es la ondulación, más se flexiona la fábrica y más fracturas pueden aparecer. Conviene entonces atenuar la ondulación a medida que la humedad aumenta.

En los extremos, la humedad tiene poca influencia gracias a la radiación solar. Por tanto, la dilatación es débil y se pueden acentuar sin miedo las curvaturas. Pero a medida que nos aproximamos al eje los tramos están cada vez menos secos. Si se quieren prevenir las deformaciones es prudente entonces suavizar progresivamente las ondas. De este modo, se pasa de un perfil A, a perfiles con menor curvatura como el A′, esto es, al ensillado (p. 21).

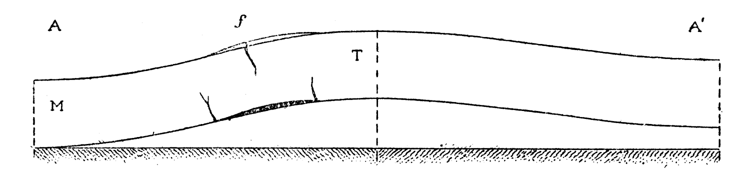


Figura 30
Fracturas en los muros ondulados debidas al hinchamiento

Efectos de la retracción

Llegamos a la época en que descienden las aguas subterráneas y la dilatación cesa. Si los ladrillos estuvieran sometidos a esfuerzos inferiores al límite de su elasticidad, la retracción sería un simple retorno a la forma original. Pero éste no es el caso de las fábricas de adobe, donde el límite de elasticidad se supera rápidamente y pueden producirse aplastamientos permanentes. El material, al reducir su volumen, se contrae entonces agrietándose.

Utilidad de las juntas: Es ahora cuando intervienen las juntas de separación entre los tramos. Un muro ondulado cuyos ladrillos se unieran sin discontinuidad sufriría durante el período seco grietas como las indicadas en la figura 31 A. Pero si dividimos la fábrica en bloques mediante juntas X (fig. 31 A´), las retracciones se regularizan. En lugar de grietas diseminadas que comprometerían la solidez, se produce una única separación en X.

Además, no es sólo desde el punto de vista de las retracciones por lo que se justifica la división. Los tramos, ahora independientes, pueden asentar individualmente si el terreno cede. Y, cuanto mejor se encajan entre sí las hiladas y más divisiones presentan, menos expuestas están a la deformación.

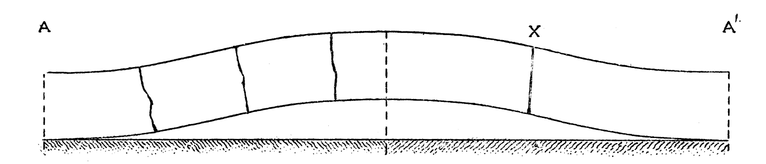


Figura 31
Juntas de dilatación en los muros ondulados

Casos de simplificación de la disposición general

Hemos citado varios ejemplos en los que el sistema se observa de forma más o menos incompleta (p. 23). Veamos de forma simplificada las circunstancias que los acompañan.

Muros con lechos no ensillados: El ensillado de los tramos cóncavos se explica (p. 35) por la necesidad de compensar las diferencias de tensión higrométrica que existen dentro del espesor de los muros, pero cuando los muros no son muy gruesos o están poco expuestos a la humedad, estas diferencias son despreciables. Así, el ensillado se observa en las murallas de Karnak y de Elkab, donde las filtraciones alcanzan prácticamente la base, y cuyo espesor sobrepasa los 12 metros. Sin embargo, en los recintos fortificados de File, Ombo y Dendera bastó con utilizar lechos cilíndricos (p. 23, fig. 16).

PAÑOS INTERRUMPIDOS POR TRAMOS CÓNCAVOS: La muralla principal de Abydos (Kom es Sultan, lám. VIII 2) está situada a cierta distancia del Nilo. Por eso, se consideró como una garantía suficiente contra los deslizamientos la presencia de algunos tramos cóncavos que rompen de vez en cuando la continuidad de los paños.

MUROS SIMPLEMENTE SECCIONADOS: En la muralla del recinto de Edfú parece que se contó sin reservas con la horizontalidad del suelo (p. 23, fig. 16). Nada de ondulaciones en los lechos, únicamente se preocuparon de los efectos de la dilatación y la retracción. El muro, al menos hasta la zona sobreelevada, se reducía entonces a un paño construido por lechos horizontales y subdividido en tramos largos y cortos de forma alternada (fig. 32), donde la división de la fábrica impedía los agrietamientos por retracción y el tramo de cabeza *p* desarrollaba sobre el terreno una fuerza de rozamiento R suficiente para equilibrar la fuerza del empuje debido a la dilatación.

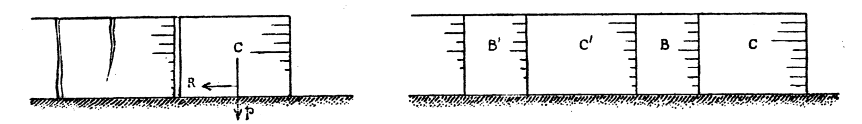


Figura 32
Muros de lechos horizontales con juntas de dilatación en Edfú

MUROS CON LECHOS CONTINUOS: Por último, en el basamento del recinto amurallado del templo de Mut en Karnak nos encontramos con una fábrica ondulada sin ningún rastro de división. Esta fábrica está construida con ladrillos cocidos (p. 10), es decir, con materiales cuyo volumen no varía. No había pues, ninguna razón para subdividirla por medio de juntas.

Resumen

Volvamos a la solución general, y recordemos, relacionándolas con sus causas, las particularidades esenciales de los muros ondulados:

a. Las ondulaciones tienen como resultado impedir los deslizamientos de la fábrica sobre el terreno y de unos lechos sobre otros;
b. La disposición ensillada de los lechos uniforma la elevación que el tramo cóncavo experimenta al hincharse;
c. Las juntas de separación entre los tramos regularizan las grietas que se producirían si la fábrica comprimida no recobrase su volumen original.

Así se resume el sistema, pero ¿cómo nació éste? Sin duda, se fue desarrollando progresivamente por la simple observación de los hechos: un muro tiende a deslizar sobre el terreno y se decide estabilizar la fábrica haciendo ondular las hiladas; las hiladas onduladas se levantan y se encuentra un correctivo; se agrietan y se encuentra una nueva solución. Sea como fuere, desde la época de la XVIII dinastía, el sistema aparece plenamente constituido. El recinto amurallado de Karnak, que se remonta a Toutmès, es el ejemplo más completo.

4
Construcciones de ladrillo: Bóvedas

Las angostas galerías se pueden techar con simples voladizos sucesivos y Dahshur ofrece ejemplos de esta solución. Sin embargo, para grandes luces, los Egipcios tuvieron que recurrir a la bóveda y, como el país tenía escasez de madera, se vieron obligados a emplear un sistema que pudiera llevarse a cabo sin armaduras auxiliares, sin cimbras.

Bóvedas de cañón

El tipo habitual es un cañón rematado por un muro testero en cada extremo. Los materiales, adobe y mortero de tierra.

El método de construcción sin cimbra

Es fácil construir en el aire una bóveda de este tipo. Basta con disponer los ladrillos, de canto y por hojas, en lugar de aparejarlos por hiladas radiales. La figura 33 A muestra el proceso constructivo. Contra el muro testero T se adhieren ladrillos, uno tras otro, a base de mortero, hasta completar un arco *a*, que será la primera hoja de la bóveda. A esta primera hoja se añade una segunda *a´* igual que la primera al muro de cabeza y, de este modo, la bóveda va prolongándose, desarrollándose en el aire.

Supongamos ahora que se quiere facilitar la puesta en obra. Con la ayuda del relleno *f* se crea una base para las rebanadas, y gracias a este artificio los ladrillos reducen su tendencia al desprendimiento. De la disposición A se pasa a la indicada en la sección B.

Así procedieron los constructores egipcios desde las primeras épocas de su arquitectura. En las excavaciones arqueológicas de Sakara pueden verse bóvedas de ladrillo cuya fecha de construcción se remonta al menos a la VI dinastía.

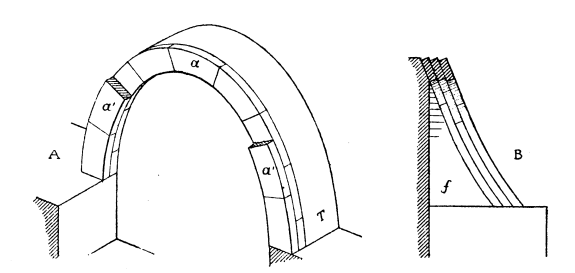


Figura 33
Bóveda de ladrillo por hojas en construcción

Detalles de la ejecución

SELECCIÓN Y FORMA DE LOS LADRILLOS: El método sin cimbra exige que los materiales de una hoja puedan mantenerse momentáneamente en voladizo por simple adherencia de los morteros. Esto implica el empleo de materiales ligeros y de poco espesor, de rasillas. Es decir, es necesario emplear, para las bóvedas, ladrillos menos gruesos que los de los muros.

Además, raramente merece la pena darles forma adovelada. Se utilizan ladrillos rectangulares y las juntas se rellenan con la ayuda de cascote o mortero (fig. 34).

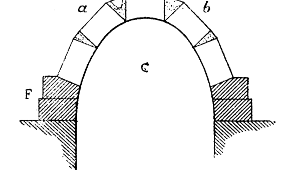


Figura 34
Colocación de los ladrillos en las bóvedas por hojas

RIÑONES EN SALMER: Comenzar la estructura por hojas desde el nivel de los arranques supondría una complicación superflua que normalmente se elude. Hasta una altura que a veces alcanza la mitad de la montea la construcción es un “tas de charge”, un salmer o jarjamento, formado por una serie de lechos horizontales H que avanzan en voladizo (fig. 35).

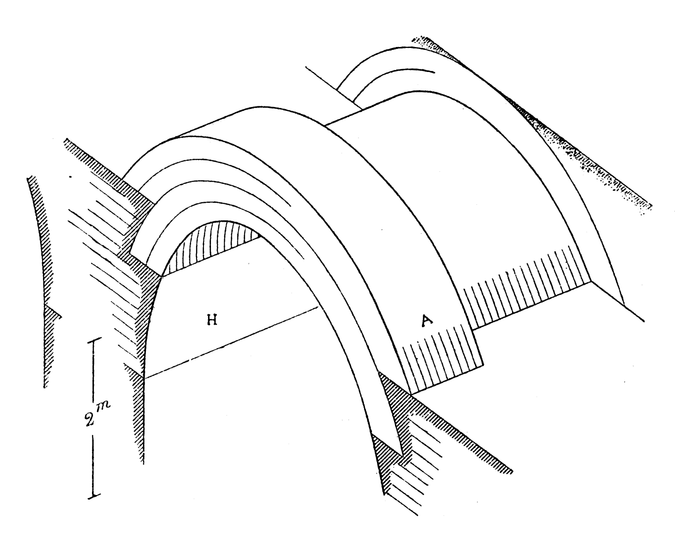


Figura 35
Arranques de las bóvedas por hojas del Ramesseum

ROSCAS SUPERPUESTAS Y RIGIDIZADORES: Para bóvedas de gran espesor se procede por roscas superpuestas (figs. 35, 36; lám. XI). Sólo la primera rosca se construye en el vacío, la única que aparentemente requiere una estructura por hojas. Pero, en realidad, sería una imprudencia construir por dovelas la capa exterior de la bóveda, ya que las juntas se multiplicarían, sería más compresible y cumpliría mal su función de descarga.

En el Ramesseum no se contentaron con doblar la bóveda (fig. 35). Ésta fue reforzada a intervalos con arcos A que le dan rigidez, de manera que donde existen rigidizadores el cañón se mantiene en pie y en los intervalos se ha hundido (lám. XI 2).

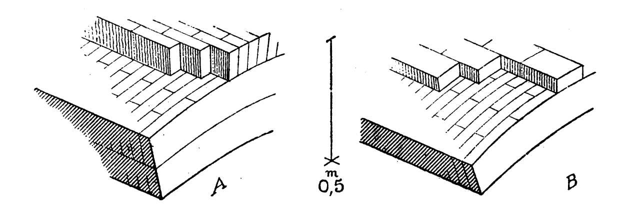


Figura 36
Detalles de bóvedas por hojas de gran espesor

Perfiles

MEDIO PUNTO: Una bóveda con perfil semicircular sólo alcanza el equilibrio deformándose, esto es, los riñones se levantan y la clave desciende. Si el cañón está construido por lechos radiales, como nuestras bóvedas ordinarias, estas deformaciones se traducirán simplemente en la abertura de ciertas juntas, pero las dovelas se mantendrán intactas (fig. 37 *c*).

Sin embargo, todo cambia si el cañón está ejecutado por hojas como la *a*. Al estar las hojas adheridas entre sí, la fábrica no puede flectar sin que aparezca un esfuerzo de tracción y, como el adobe es incapaz de resistirlo, la bóveda está expuesta a agrietamientos. No obstante, a pesar de sus inconvenientes, el perfil semicircular se empleó en algunas ocasiones, de forma notable en Dahshur.

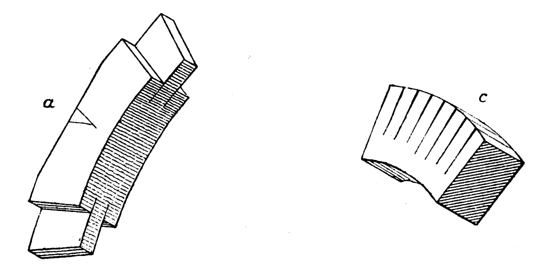


Figura 37
Diferencias en los agrietamientos de las bóvedas por hojas y de juntas radiales

CARPANEL PERALTADO: Sólo hay un perfil que impide la aparición de juntas de rotura: la catenaria. El perfil habitual de los cañones por hojas se asemeja considerablemente a esta curva teórica. Consiste en una curva peraltada de tres centros, que se obtiene mediante dos triángulos *abc*, cuyos lados guardan entre sí la relación 3:4:5 (fig. 38 M). Los puntos *a* dan dos de los centros y el vértice común *c*, el tercero. En N, hemos superpuesto las dos curvas, siendo *v*, la catenaria y *u*, el arco carpanel egipcio. La desviación de una respecto a otra es insignificante.

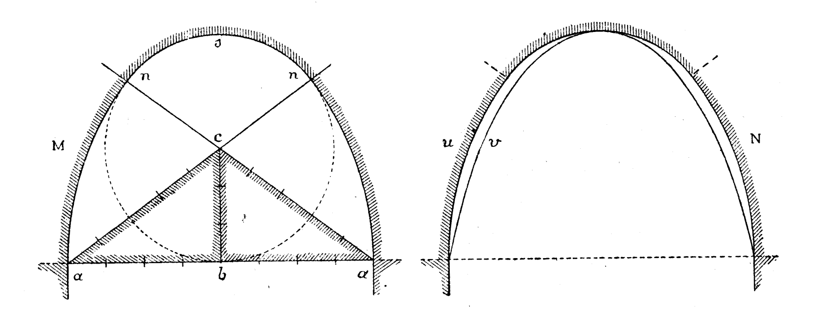


Figura 38
Trazados de bóvedas con perfil carpanel peraltado. Comparación con la catenaria

APUNTADO Y ESCARZANO: Después de la catenaria –o del arco carpanel peraltado, que es su equivalente en la práctica– los dos perfiles que generan menores esfuerzos de tracción son el arco escarzano y el apuntado.

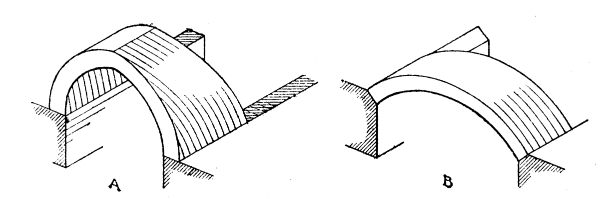


Figura 39
Bóvedas apuntadas y escarzanas por hojas

El arco apuntado se encuentra en las tumbas más antiguas de Sakara y es también el perfil de un acueducto de ladrillos cocidos en Medinet Habu (lám. XII, 2), que guarda un parecido extraordinario al acueducto asirio de Khorsabad.

En cuanto al arco escarzano, lo encontramos en Deir el-Medinah (lám. XIII, 1).

Método de replanteo en el espacio

El trazado de estas curvas en el espacio se realiza muy probablemente con la ayuda de cordeles guía, de cintreles.

Para un cañón de tres centros, basta un sistema de cordeles con la disposición de la figura 40. Durante la ejecución del arco inferior AN, el cordel AC cuelga y el A´C está tenso. El arco superior NS se obtiene después con los tres cordeles tensos.

Para un arco ojival, se empleará un cintrel con dos cordeles de igual longitud, OM y O´M. Durante la construcción del arco AS, el hilo O´M está destensado (fig. 41).

Por otra parte, el cintrel no se coloca normalmente en un plano vertical, sino en el de la hoja. Por esta razón, cuando la sección perpendicular parece no con-

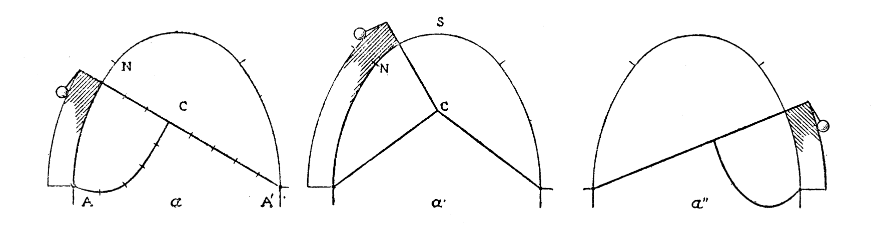


Figura 40
Fases del replanteo con cordeles guía de un cañón por hojas de tres centros

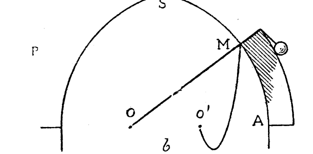


Figura 41
Replanteo con cordeles guía de un arco ojival

cordar con el trazado anterior, encontraremos el perfil teórico al medir la flecha sobre el plano inclinado de las hojas (fig. 42, Assasif).

Por otro lado, el cordel guía sólo da posiciones aproximadas en el espacio. Los perfiles carecen, pues, de regularidad hasta un punto tal que, en un mismo grupo de bóvedas, las curvas varían desde el arco peraltado a formas prácticamente apuntadas (lám. XI).

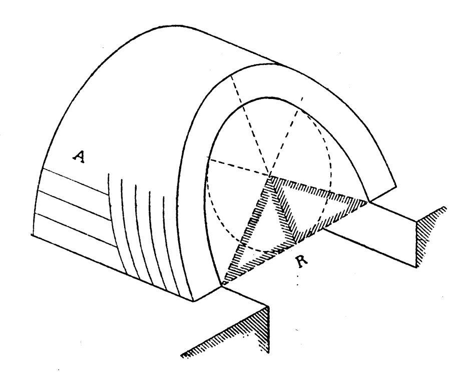


Figura 42
Bóveda en Assasif. Replanteo geométrico en el plano de las hojas

Cañones construidos sobre apoyos temporales

BÓVEDAS AISLADAS (VANOS Y ARCADAS): El método de construcción sin cimbra implica la existencia de un muro testero que sirva de arranque a las hojas (p. 40). Si el muro testero falta, se recurre a la solución indicada en la figura 42. En primer lugar, se levanta con cimbra y por lechos radiales, un arco testero A. Contra este arco A se adosa una primera hoja, del mismo modo que se haría contra un muro piñón, y se continúa por rebanadas, ya sin cimbra.

Generalmente, el arco de cabeza A se estrecha en la clave. Apenas pesa y el cimbrado que necesita puede reducirse a una forma de madera flexible, armadura rudimentaria cuya tradición se ha conservado.

BÓVEDAS SOBRE MOLDES DE TIERRA: Cuando se trata de abovedar una sala subterránea, existe un molde natural, el propio terreno de la excavación. Si a este te-

rreno se le da forma según el perfil de la bóveda, desempeñará el papel de una cimbra y, no teniendo que construir en el aire, no habrá ninguna razón para someterse al procedimiento por hojas.

Cúpulas

Perfil y método de ejecución

Con las cúpulas entramos de nuevo en el dominio de la construcción sin cimbra. La figura 43 muestra un tipo de cúpula, con perfil apuntado y lechos horizontales, utilizado en las tumbas de Abydos y de Deir el-Bahari. La cúpula se compone de anillos cuyo diámetro va disminuyendo desde los arranques hasta la clave. Como cada anillo vuela ligeramente sobre el que lo soporta, no se requiere ningún punto de apoyo auxiliar. Además, el hundimiento de la fábrica sólo podría darse por reducción del diámetro de los anillos, es decir, es estable sin cimbra en cualquier momento de la ejecución.

En cuanto al trazado en el espacio, éste no ofrece ninguna dificultad. Como

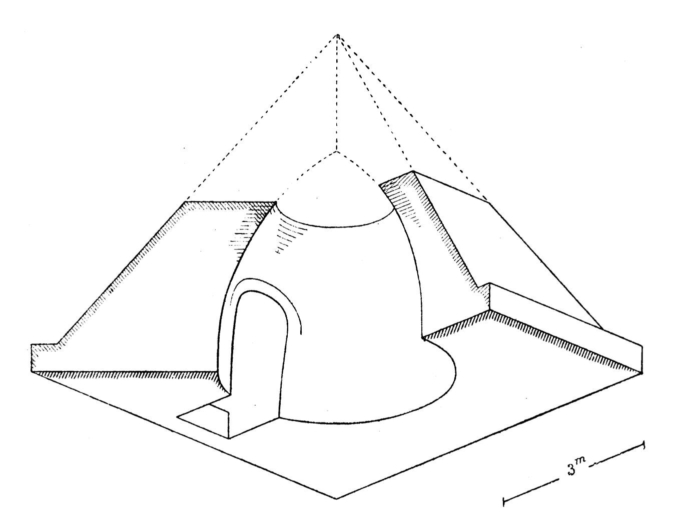


Figura 43
Perspectiva seccionada de una cúpula construida sin cimbra (Abydos y Deir el-Bahari)

guía se utiliza un juego de cintreles análogo al empleado para las bóvedas de cañón, es decir, un cordel *r* que rota en torno a un mástil (fig. 44).

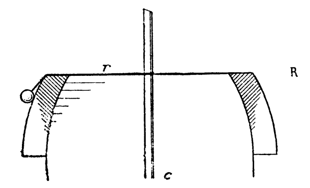


Figura 44
Replanteo en el espacio de las cúpulas construidas sin cimbra

Pechinas incipientes

¿Adaptaron los Egipcios la cúpula a la planta cuadrada? En otras palabras, ¿conocieron la pechina? Realmente no tenemos noticia de ningún ejemplo, pero sí de que al menos sabían abovedar salas cuadradas con cúpulas delgadas de tierra mezclada con trocitos de paja y construidas por vuelos sucesivos.

Las pinturas muestran claramente estas cúpulas primitivas que hoy día se construyen en las chozas del Delta, coronadas, como en otros tiempos, con una linternilla por donde se libera el humo del hogar. La tradición no ha variado en nada.

Las bóvedas de ladrillo fuera de Egipto

Como los constructores egipcios, los caldeos emplearon la bóveda porque carecían de madera (δὶὰὰξνλίαν, Strab. XVI, 3) y así, la bóveda sin cimbra se encuentra en sus monumentos más antiguos. Ahora bien, ¿fue en Egipto o en Mesopotamia donde nació el sistema? La duda parece razonable y, a falta de datos sobre sus orígenes, nos limitaremos a observar la sucesión cronológica de los tipos y su distribución en las principales regiones del mundo antiguo.

En Egipto, sólo encontramos la bóveda de cañón por hojas y la cúpula por lechos horizontales. Las bóvedas mesopotámicas que han llegado hasta nosotros

son bóvedas de cañón ejecutadas generalmente por hojas; algunas veces se encuentran bóvedas muy peraltadas y construidas por vuelos sucesivos. En cuanto a Asiria, no añade nada a los vestigios mesopotámicos.

Por otro lado, una analogía que no puede ser fortuita asemeja las cúpulas egipcias a las cúpulas prehelénicas, con el mismo perfil apuntado y la misma disposición de los materiales por hiladas anulares. Sin embargo, los Egipcios de Abydos hacen uso del ladrillo, y los Aqueos de Micenas y de Orchomène emplean la piedra. Realmente, es en Persia y, probablemente, en época aqueménida, donde se desarrolla la cúpula por lechos cónicos y también la pechina, que Egipto apenas vislumbraba.

Por último, la bóveda de arista es la más reciente de todas, y los procedimientos que permiten ejecutarla sin cimbras parecen propios de la escuela asiática del arte romano donde surge la arquitectura bizantina.

5

Construcciones de piedra

Las construcciones de piedra son, en la mayor parte de los casos, un puro alarde. Su historia será la de un continuo esfuerzo tendente a conciliar la amplitud de los programas con la simplicidad de los medios. En primer lugar, pasaremos revista a las prácticas que constituían los oficios de cantero, tallista y albañil.

Los materiales y el modo general de empleo

Los materiales en el bajo Egipto son calizas y ciertas areniscas de Mokatam. En Dendera, río arriba, la mayor parte de los templos fueron construidos con arenisca de Silsilé y el granito, cuyo uso es, por otra parte, muy restringido, proviene de coladas que forman el umbral de la primera catarata.

Por otro lado, las canteras de Silsilé, de donde provienen los materiales de Karnak, están situadas a 150 kilómetros del lugar donde se utilizaron. Muchos otros yacimientos hubieran resultado más próximos, pero la facilidad de transporte por el Nilo permitía no tener en cuenta la distancia y guiarse casi exclusivamente por la resistencia de las piedras y la facilidad de puesta en obra.

Extracción

El granito se extrae abriendo entalladuras en los bloques, frecuentemente dispersos a flor de tierra, en las que se introducen cuñas de bronce a golpes, o bien, de madera dilatada por humedad (fig. 45 *c*, lám. XXIV).

Las canteras de caliza o arenisca se explotan tanto en galería como a cielo abierto, excavando una zanja en torno al bloque, que después se extrae con la ayuda de palancas o cuñas (fig. 45 *a*).

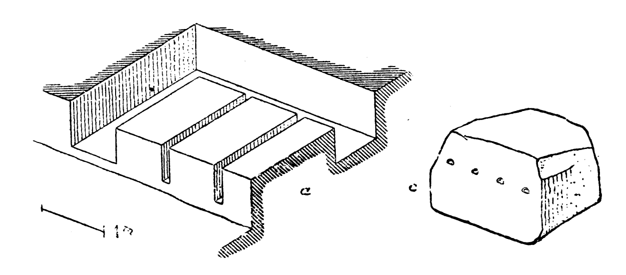


Figura 45
Sistema de extracción en cantera de los bloques de caliza o arenisca (*a*) y granito (*c*)

Labra y asiento

En una época en que las herramientas eran de bronce, la labra de las piedras ofrecía serias dificultades. No había, pues, más remedio que simplificarla. Se aceptaba, con ligeros retoques, la forma resultante de su extracción en la cantera y, en el momento de la puesta en obra, se buscaban combinaciones que permitiesen encajar las piedras manteniendo dicha forma. Es el principio de la mampostería poligonal de piedras en hiladas superpuestas.

Este aparejo irregular se empleó sobre todo bajo la dinastía de los Ramsés, cuando la magnitud de las empresas obligaba a transigir con la corrección. El despiece no será uniforme hasta el empleo de herramientas de hierro.

LABRA DE PIEZAS DESBASTADAS. ENRASADO DE LOS LECHOS: La cara inferior de los bloques sólo se labra definitivamente en la obra. Tanto el paramento como la cara superior permanecen en estado de desbaste y, en el momento de construir una hi-

lada, se enrasan sobre la marcha las piedras de la hilada inferior. Entre otros ejemplos de esta práctica, podemos citar el zócalo de File, donde el último lecho permanece imperfectamente aparejado (lám. I).

Por otro lado, la costumbre de labrar los lechos en obra es muy frecuente en la antigüedad y ha dejado su huella en el arte griego y en los más antiguos monumentos de Persia.

PRESENCIA Y PAPEL DEL MORTERO: Con mucha frecuencia bastaba con colocar las piedras sin mortero, a hueso, procedimiento más sencillo que económico, que exigía una preparación perfecta de las superficies. En cambio, las incorrecciones de la labra se subsanan rellenando los intersticios con la ayuda de mortero, pero es improbable que los Egipcios emplearan el mortero para transmitir y regularizar las cargas. En las construcciones cuidadas, como los paramentos del templo de Sphinx o los de las galerías de la gran Pirámide, no lo utilizaron jamás. Es un añadido, sin otro objeto que el de facilitar el trabajo.

UNIONES ARTIFICIALES: Para asegurar completamente la unión entre los bloques, se recurre a piezas en cola de milano, generalmente de madera. Así, en la base de uno de los obeliscos de Luxor, una de estas piezas en cola de milano consolidaba el granito fisurado, y también en Karnak o Edfú, donde las piedras se enlazaban entre sí con grapas similares, impidiendo los desplazamientos que hubieran podido separarlas (lám. XIX, 2).

RETUNDIDO: Indicios del procedimiento. Las piedras, colocadas sin labrar en el paramento, eran rebajadas después. Esta operación de relabra se manifiesta en los frecuentes desacuerdos existentes entre el aparejo y la forma, como es el caso del capitel de la lám. XVI, 1, cuyo arranque se encuentra ligeramente separado del plano del lecho que hubiera debido marcar su posición. También en los paramentos de los muros se dan incorrecciones parecidas (fig. 46 C).

Etapas del trabajo. La lám. XIX, 1 muestra un muro de Luxor cuya construcción quedó interrumpida. Se observa cómo el retuntido comenzaba por la parte superior. Ésta era la única manera de prevenir los daños que el impacto de los fragmentos hubiera producido en las partes bajas de seguir un orden inverso.

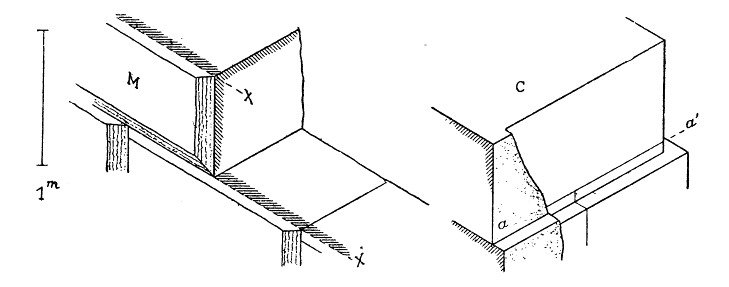


Figura 46
Labra definitiva de la piedra. Discordancias entre forma y aparejo.

Trazas de replanteo. También se preocupaban de trazar líneas de referencia para guiar a los canteros cuando la superficie de los lechos todavía estaba sin labrar (fig. 46 M). Estas líneas directrices X se tallaban con la ayuda de un cordel.

Algunas veces los bloques en estado de desbaste M presentaban cortes en bisel alineados según X. En una columna inacabada de Karnak, los biseles destinados a marcar las secciones horizontales de los tambores dan a las piedras desbastadas el aspecto de conos invertidos (lám. XV, 1; fig. 54 *b*). Cuando se reemplacen estos remates biselados por remates acanalados, aparecerá el procedimiento habitual de los Griegos.

Enlucidos: Las fachadas son normalmente un fondo sobre el que se desarrollan escenas figuradas o textos jeroglíficos. Las líneas de los lechos y las juntas habrían interrumpido inoportunamente esta decoración y, por eso, se ocultan revistiendo el paramento con un enlucido pintado que necesariamente vela las incorrecciones del aparejo.

Hasta aquí hemos descrito de forma vaga la naturaleza de los morteros y las particularidades del utillaje. Es importante cubrir ahora esta doble laguna.

Herramientas y modos de labrar las piedras

El hierro, del que el Sr. Maspero ha encontrado vestigios en las pirámides más antiguas, fue durante largo tiempo un metal precioso. No parece introducirse como material de uso corriente hasta las dinastías llamadas saítas.

CINCEL DE BRONCE: Hasta entonces se trabajaban las areniscas y las calizas con la ayuda de cinceles de bronce, cuyo filo, marcado en los bloques (lám. XVI), era muy parecido al de los nuestros de acero.

ESCOPLO BIMETÁLICO: Para los materiales más duros, un cincel con el filo más agudo concentraba sobre un menor canto el efecto de la percusión (fig. 47). Este cincel, cuyo análisis debemos a la cortesía del Sr. Albert Colson, presenta una constitución bimetálica, con un núcleo de bronce con el 13% de estaño y un recubrimiento de bronce con el 4,67%, es decir, cobre prácticamente puro. Sin este recubrimiento blando, el bronce se habría partido, ya que la epidermis de cobre amortigua los golpes e impide que el filo se rompa.

Por otro lado, el espesor del alma de bronce es aproximadamente de 4 milímetros y el de la funda de cobre, de 1 milímetro. En cuanto a la fabricación, es probable que se envolviese la hoja protectora en torno al núcleo, y que los materiales se soldasen entre sí por martilleo y calor en un molde.

Desde el punto de vista de su modo de empleo, el útil corresponde a nuestro escoplo. Su filo estrecho permite labrar los huecos de los ángulos entrantes y como estos ángulos aparecen también en el granito, puede que nos encontremos en presencia del instrumento que al menos permite iniciar el corte para extraerlo de la cantera.

PULIMENTO: Por otro lado, también se conocía la broca que, con arena, podía servir para desbastar un bloque (p. 3). La función del cincel se reducía entonces a

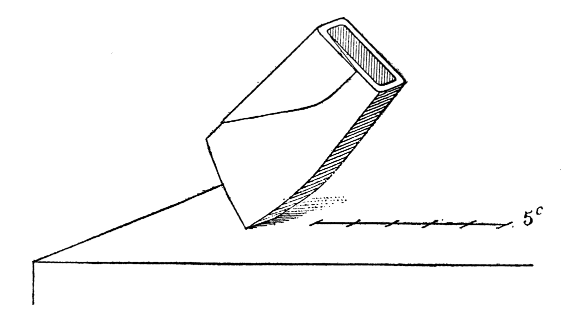


Figura 47
Escoplo bimetálico empleado para el corte de materiales duros

regularizar las formas. En cuanto al pulimento, se obtenía por rozamiento, con la ayuda de cantos rodados y arena silícea.

MARTILLEO: El Sr. Soldi, cuya opinión está apoyada en una indiscutible experiencia, admite que el procedimiento habitual de desbaste consistía en el empleo del punzón, que rompe el granito, y la martillina, que suaviza las asperezas.

ASERRADO CON ARENA: Por último, un método de trabajo, aplicado al parecer desde las épocas más antiguas, es el empleo de sierra con arena, es decir, una lámina de metal que roza contra granos de cuarzo mojados con agua, suficiente para debilitar los materiales más duros.

La extracción y desbaste de los colosos sentados a golpes de martillo hubiera exigido un trabajo enorme. Sin embargo, el corte con arena reduce la dificultad, ya que permite obtener grandes planos de desbaste. Son estos planos de corte, o al menos su rastro, los que parecen explicar las superficies planas de las estatuas (fig. 48).

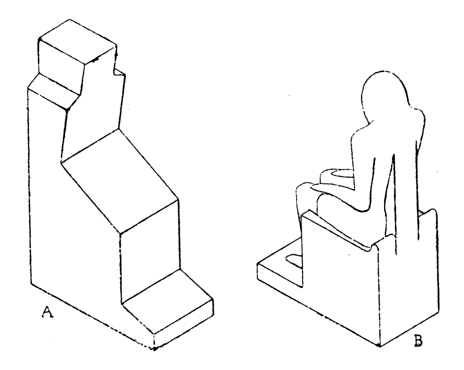


Figura 48
Aserrado con arena y grandes planos de desbaste de los bloques destinados a estatuas

Composición y puesta en obra de los morteros

No hemos encontrado rastro alguno del empleo de mortero de cal y arena. En su lugar, los Egipcios utilizaban yeso, al que añadían una cierta cantidad de arena

que variaba entre el cuarto y el cuádruplo de su volumen. Normalmente, la arena es terrosa.

Por su parte, el yeso proviene de canteras donde se encuentra mezclado con piedra caliza, contiene muchas impurezas, y está bastante mal cocido, ya que como el combustible era caro, se procuraba no malgastarlo. En muchos de los casos, los cristales de yeso han resistido al fuego y, con más razón, los fragmentos de piedra caliza debieron escapar también a la cocción. De ellos no se obtuvo cal, pero se han incorporado a la masa, como si fueran arena.

Se puede entonces considerar como material activo solamente al yeso. El yeso fragua casi instantáneamente, por eso, había que hacer la mezcla *in situ* según se iba necesitando y acelerar su puesta en obra, posiblemente por vertido.

En las pirámides de Gizé el mortero rellena los huecos de forma bastante deficiente pero, sin duda alguna, fue vertido en los intersticios que quedaban entre las piedras después de su colocación. En general, la puesta en obra es tan descuidada como su fabricación, ya que los Egipcios no veían en el mortero más que un relleno y como tal lo trataban.

La estructura de los edificios

La figura 49 resume la construcción de un edificio de cantería. Si el espacio a cubrir es lo suficientemente pequeño como para salvarlo en un único vano con las losas de cubierta, la construcción se reduce a estas losas y sus apoyos. Si el espacio es más grande, se divide en tramos con filas de pilares que soportan vigas de piedra o arquitrabes, sobre los que a su vez apoya la techumbre. A este tipo pertenece el pórtico, que es una galería abierta por uno de sus laterales, y la sala hipóstila, un pórtico con múltiples crujías.

Los elementos se reducen entonces a tres: el muro, las pilas con sus arquitrabes y las losas de cubierta.

Apoyo sobre el terreno

Apenas se pueden citar algunas cimentaciones de grandes bloques de piedra sin labrar bajo las paredes del templo de Luxor, una gruesa solera de adobes bajo las filas de pilares del Ramesseum y, bajo las columnas de Karnak, pequeños blo-

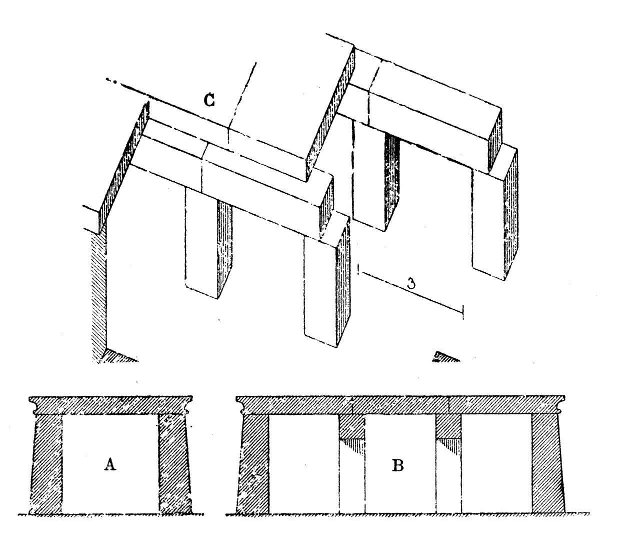


Figura 49
Perspectiva y secciones de un edificio de cantería

ques de mampuestos, dispuestos de forma tan negligente, que parte de la carga apoya en falso. En general, las construcciones de piedra descansan directamente sobre terreno apisonado, como las construcciones de ladrillo.

Muros

TIPO NORMAL: El aparejo responde aproximadamente a los tipos indicados en A y en B (fig. 50):

A. Hiladas con todas las piedras dispuestas a soga;
B. Hiladas con piedras a soga que alternan con hiladas a tizón,

En la base de los muros se observa algunas veces un resalto como el *d* (fig. 52, Medinet Habu). En los ángulos, no aparecen bloques tallados en forma acodada, sino la simple disposición conocida como encadenado o aparejo de mayor. Éstas son las disposiciones teóricas. Anteriormente indicamos las dificultades relativas a las herramientas que muy frecuentemente impidieron su empleo. El detalle C en la figura 50 (Medinet Habu) es un ejemplo de estas licencias, con juntas discontinuas e inclinadas, y parches.

MUROS SIN TRABAZÓN: En cuanto a la trabazón, unir entre sí dos paramentos de aparejo irregular supondría un trabajo de ajuste muy complejo y los Egipcios retroceden ante esta limitación. El enlace, la traba transversal, sólo se da, pues, de forma excepcional y el muro se compone entonces, como regla general, de dos paramentos distintos e independientes que, o bien se adosan directamente uno al otro, o quedan separados por un intervalo (fig. 51). Estas dos variantes *a* y *a´* se comparan en la figura 52.

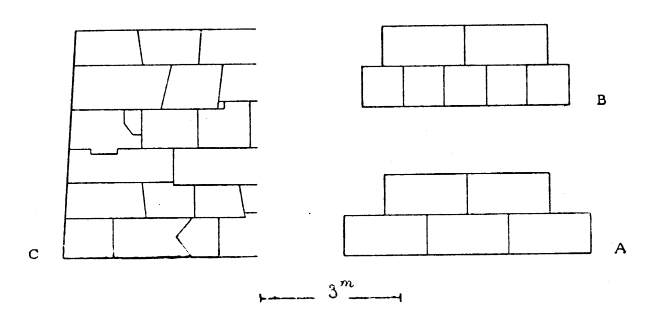


Figura 50
Tipos de aparejo de los muros de cantería

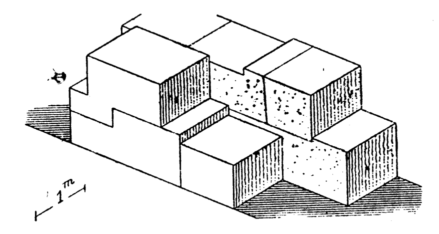


Figura 51
Detalle de un muro de piedra compuesto de dos paramentos sin trabazón

– Paramentos adosados directamente

La fábrica *a* está, por así decirlo, dividida según su eje y no se podría dar inclinación a los paramentos sin adelgazar más de la cuenta las piedras de las últimas hiladas. El talud es, pues, nulo o casi inapreciable, y la estabilidad, imperfecta.

– Paramentos separados por un relleno

En *a´*, el núcleo del muro se compone de mampuestos o cascote y, algunas veces, de arena gruesa. El paramento interior se levanta verticalmente, y el paramento exterior *p*, apoyado contra el relleno, se eleva con una inclinación que algunas veces alcanza 1/10. Se obtiene así una base más ancha y rígida, gracias a la cual, el muro *a´* mantendrá su alineación y su plomo sobre un terreno deslizante. En cambio, el *a*, estaría expuesto a perderlos.

– Ejemplo de aplicación

El tipo *a´* (Luxor) se utiliza generalmente en las salas y pórticos de los templos y el *a*, en los recintos que los rodean. En este sentido, la angostura de los caminos de ronda demuestra que se ahorraba espacio en torno a los templos, y el perfil *a* reducía al mínimo la anchura del muro perimetral. Ahí está, sin duda, la razón que justificó su aceptación.

Sólo en época ptolemaica tiende a prevalecer el aparejo trabado, aprovechando las facilidades de labra que permite el empleo de útiles de hierro.

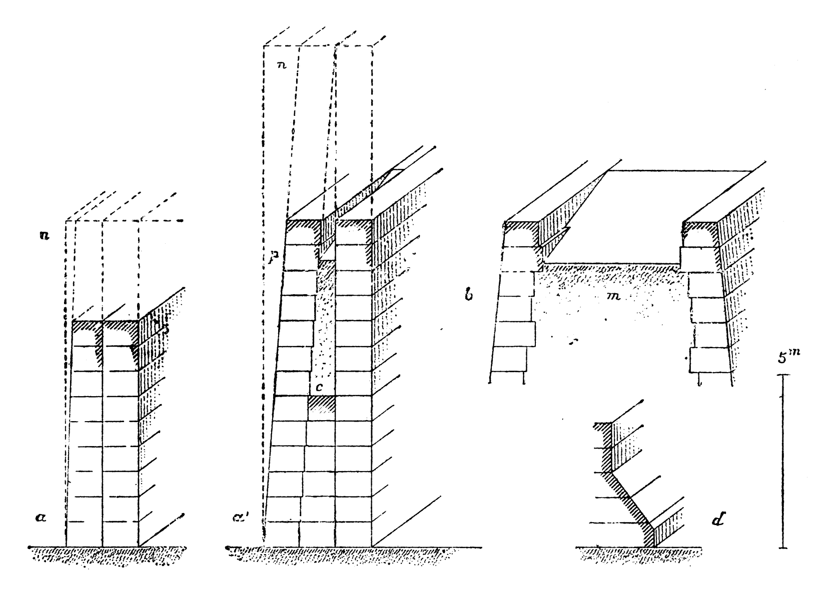


Figura 52

Distintas soluciones de muros formados por paramentos sin trabazón

Pilonos

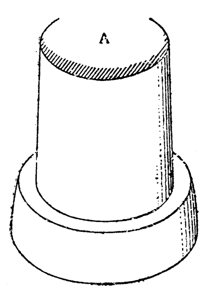
Este modo de construcción con núcleo de mampostería y cascote es también el de los pilonos coetáneos de los muros *a*´. La única diferencia es que, en los pilonos (sección *b*), los dos paramentos están inclinados.

Por otro lado, el núcleo de arena que rellena el espacio interior juega un papel esencial. Si una brecha permitiera que la arena se derramase, los paramentos apoyarían en falso y así han perecido la mayor parte de los pilonos de Tebas. La fotografía de la lám. XXI, 2 muestra el aspecto de una de estas construcciones, donde la desaparición del núcleo ha dejado a los paramentos inclinados en el vacío, comenzando a alabearse y amenazando ruina inminente.

Los pilonos con estructura de sillería y cámaras internas de aligeramiento datan de la misma época que los muros trabados, y proceden de las mismas influencias (Edfú).

Columnas

Raramente una columna es monolítica, sino que se compone de tambores que, a su vez, pueden estar divididos en sectores por juntas radiales (lám. XX, 1). El fuste, ligeramente cónico, se apoya en el terreno por medio de un gran disco que le sirve de base y reparte las cargas. Este fuste presenta casi siempre una reducción de sección en el arranque (fig. 53 B). ¿Hay que ver en este estrechamiento una simple concesión a cierto simbolismo decorativo?



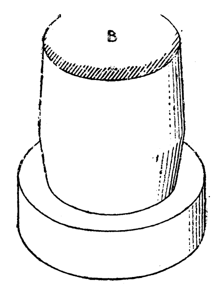


Figura 53
Detalle de la base de las columnas egipcias

Sea cual sea su origen, se concilia muy bien con las exigencias de la estabilidad. Si la columna fuera exactamente un cono (A), el disco estaría comprimido por un esfuerzo oblicuo en su perímetro que podría inclinar el fuste. Con una columna de fuste estrangulado, el disco de la base recibe más centrada la carga, la presión se reparte de manera más uniforme, y se asegura mejor el aplomado.

Arquitrabes

La figura 54 y la lám. XVIII muestran el aparejo de los arquitrabes de la sala hipóstila de Karnak: N, en la nave grande y M, en las naves laterales. Un monolito de sección N tendría un peso de cien toneladas, pero se divide en dos vigas gemelas *m*, *m´*. Ahora bien, estas vigas gemelas no muestran, en absoluto, alturas uniformes y las irregularidades se compensan con los rellenos *n* y *n´*.

Los arquitrabes M, de menor tamaño que los de la nave grande, son monolíticos. Pero, aquí incluso, la uniformidad en altura es sólo aproximada, ya que las piezas *c* compensan las variaciones y, gracias a este artificio, se evita un rebaje que restaría a las vigas una parte de su resistencia.

En cuanto a las luces de los arquitrabes, éstas no son todas iguales, sino que se reservan, para los tramos más anchos, los bloques de mayor sección. Por últi-

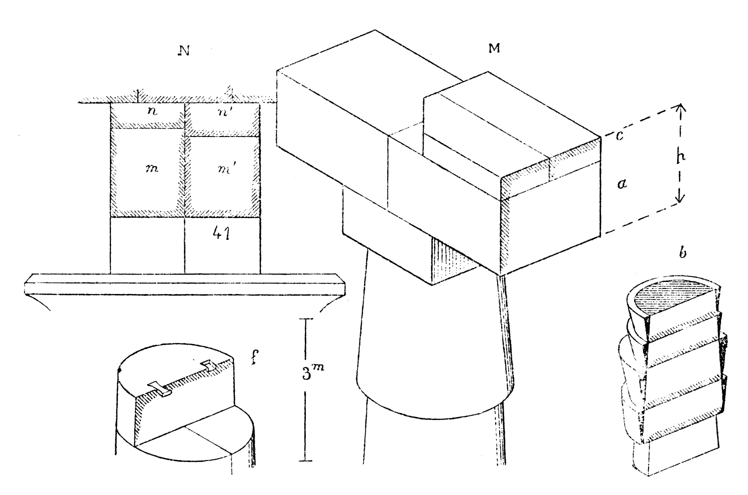


Figura 54
Aparejo de los arquitrabes de la sala hipóstila de Karnak

mo, en el encuentro de dos columnatas, los bloques de los arquitrabes se ensamblan en forma biselada (lám. XX, 1).

Techos

TECHOS HORIZONTALES: Los forjados de las salas hipóstilas y de los pórticos consisten simplemente en losas yuxtapuestas. Para hacer estancas las terrazas se practican ranuras selladas con tapajuntas de piedra en la dirección de las juntas (lám. XX, 2).

Cuando una galería dobla, el acuerdo entre los forjados se realiza por medio de losas con juntas divergentes o en forma de abanico (File, pequeño templo de Isis).

TECHOS EN ARCO DE DESCARGA QUEBRADO: Los techos de los templos no soportan más que su propio peso. Sin embargo, los de los corredores o las salas de las pirámides soportan el peso de la fábrica superior y se refuerzan entonces con losas inclinadas apoyadas entre sí formando arcos de descarga quebrados (fig. 55). Idéntica protección aparece en los forjados situados bajo los terraplenes de Deir el-Bahari.

La pirámide de Keops presenta, por encima de la sala sepulcral (*a*), un espacio vacío atravesado por cuatro losas de piedra y coronado por un arco de descarga. Esta cámara sólo es accesible rompiendo el arco de descarga y destruyendo los cuatro forjados. Por otra parte, en la galería principal (*c*), la luz de las losas se

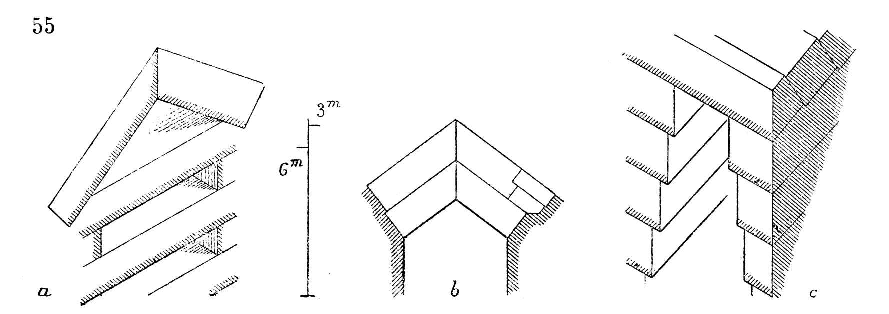


Figura 55
Techos con arcos quebrados (*a* y *b*) y en falso arco (*c*)

reduce mediante un sistema de voladizos. Y, como la galería es inclinada, se tuvo buen cuidado de enlazar, por así decirlo, el techo a los muros de apoyo. Esto es, las losas se encajan en diente de sierra de modo que no puedan deslizar.

TECHOS CURVOS: El aparejo representado en la figura 56 permite cubrir sin apoyos intermedios una luz demasiado grande para una losa única. El principio es el mismo que el utilizado en la gran galería de Keops, el de los voladizos sucesivos. Y el vuelo se regula de tal manera que, en un instante cualquiera de su construcción, la fábrica esté en equilibrio y sea capaz de sostenerse en el espacio. Es decir, el centro de gravedad siempre cae de la base, por lo que una armadura de apoyo sería superflua.

De ordinario se adopta un perfil curvo rebajado, con aspecto de bóveda, en la que se adelgazan las partes que vuelan. Se asegura así el equilibrio sin apenas disminuir la resistencia. Ejemplo de ello son los techos de las siete capillas de Abydos (lám. XIII, 2) y de la mayor parte de las galerías de Deir el-Bahari.

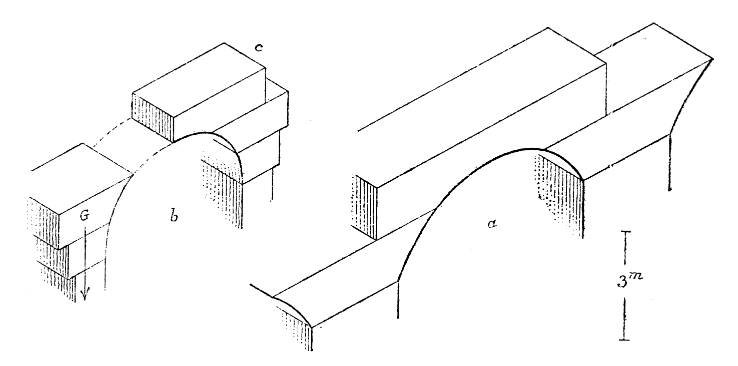


Figura 56
Techos curvos en falso arco, por vuelos sucesivos

Bóvedas de dovelas

Las losas en forma de arco de descarga quebrado situadas por encima de las cámaras y los corredores de las pirámides (p. 61) son quizá, las disposiciones constructivas más antiguas que generan empuje, ya que las bóvedas de mampuestos aparecen por primera vez en Sakara en la dinastía VI.

Dado que se emplean materiales gruesos y pesados, no se puede acudir a los artificios basados en la adherencia que hacían posible la construcción sin cimbra (p. 39). Todas las bóvedas de mampuestos están, pues, construidas sobre cimbras, y con lechos radiales, aunque raramente las dovelas se tallan con plantilla, sino que las juntas se separan en el trasdós y se rellenan con fragmentos de piedra. Es exactamente el mismo procedimiento que hemos descrito a propósito de las construcciones de ladrillo.

Para encontrar bóvedas de aparejo regular, hace falta esperar a la XXVI dinastía. Los ejemplos de la figura 57 proceden de capillas anejas al templo de Medinet Habu, donde la bóveda A presenta una particularidad que reaparece en los puentes del sur de la Galia de época romana: está formada por arcos yuxtapuestos sin ligazón, de modo que una misma armadura de cimbra pueda servir sucesivamente para levantar cada uno de los arcos contiguos.

En el ejemplo B, las dovelas de la clave son de un tamaño doble que las de los riñones, ya que el constructor, al considerar las dovelas superiores como cuñas que tienden a descender bajo la acción de su peso, habrá querido sin duda prevenir el deslizamiento abriendo lo más posible el ángulo α que forman entre sí estas cuñas suspendidas.

Por lo demás, en lo que a bóvedas de piedra se refiere, los Egipcios sólo construyeron bóvedas de cañón. Existe un casquete esférico sobre pechinas de aparejo en File, pero forma parte de un monumento romano, y la similitud de su estructura con la de las cúpulas de Djérach permite suponer un origen sirio.

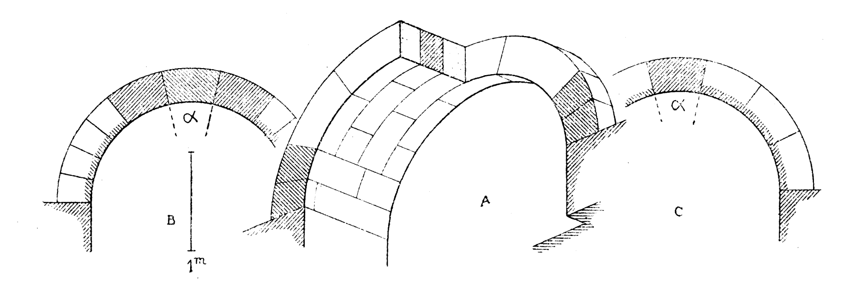


Figura 57
Bóvedas de sillería en las capillas anejas al templo de Medinet Habu

Salas hipóstilas

Las salas hipóstilas (p. 55) nos llevan de nuevo al sistema de construcción adintelada. Veamos en qué se basa su estabilidad.

Las paredes tienen una inclinación muy pronunciada, constituyendo así un cinturón rígido que rodea la sala y mantiene invariable el perímetro del forjado de cubierta. En cuanto a las columnas, ancladas por las losas del forjado, no pueden moverse en cabeza, están inmovilizadas en la parte superior y sólo pueden inclinarse oblicuamente o deslizar. Además, como garantía contra el desplome (p. 59), existe bajo cada fuste un regruesamiento en forma de disco ancho, y comprimido solamente en la zona central.

¿Que tiende a hundirse en el terreno la base de una columna? Un enlosado, cuyas gruesas losas se encajan entre las bases, hace imposible a esta columna deslizar sin arrastrar a todas las demás. La firmeza está así asegurada, en tanto puede estarlo.

Pórticos

Se podría analizar del mismo modo el equilibrio de los pórticos. Los del patio interior de Medinet Habu han sufrido una deformación que confirma la utilidad del enlosado, es decir, las columnas se han movido y su alineación se ha alterado. Este desplazamiento se explica por sí mismo ya que el área central fue enlosada demasiado tarde. Pero el fallo se produjo antes de la ejecución del patio de entrada donde, sin duda, la zona central sí fue enlosada a tiempo y los pilares han mantenido su alineación.

Precauciones contra el efecto de los asientos

Sobre el fondo terroso de los aluviones del Nilo es de temer que cargas desigualmente repartidas ocasionen asientos desiguales y, como consecuencia, roturas. En este sentido, Filón de Bizancio, en el siglo II antes de nuestra era, aconsejaba evitar toda ligazón entre dos paños de muro desigualmente cargados, precepto que ya se practicaba en la arquitectura egipcia.

Por ejemplo, un pilono es más alto y más pesado que las construcciones adyacentes (fig. 58). Jamás se enlaza con ellas, sino que una junta *z* separa el pilono

del pórtico y permite a cada uno asentar de forma independiente. Por otro lado, el cuerpo central del pilono es más pesado que la parte *a* correspondiente a la jamba de la puerta y, por tanto, se dispone una nueva junta *x* entre la jamba y el núcleo del pilono.

Se puede decir entonces que el principio consiste en independizar los elementos que cargan de forma desigual sobre el terreno. Esta precaución se manifiesta en el gran patio de Karnak (lám. XIV). Sin embargo, en Luxor, en las negligentes construcciones de Ramsés II, se omitió y aparecieron grietas en *x*, donde hubiera debido haber una junta de separación.

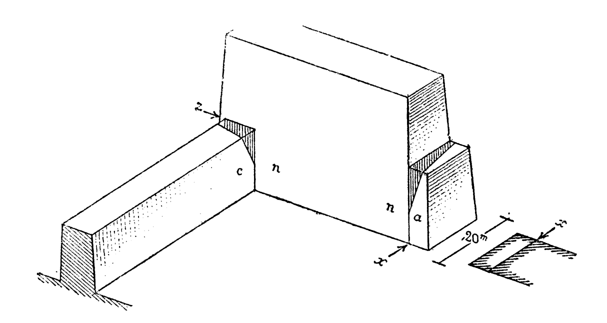


Figura 58
Juntas de separación en la construcción de los pilonos

Ahorro de material

¿Derrocharon material los Egipcios? ¿Gastaron en sus templos más piedra de la necesaria para asegurar la estabilidad?

TENSIONES: Tomemos como ejemplo la gran nave de la sala hipóstila de Karnak. Al calcular la tensión que se alcanza en las losas del techo se obtiene una cifra superior a 4 kg/cm^2 (0,4 N/mm^2), y en los arquitrabes la tensión llega a los 5 kg/cm^2 (0,5 N/mm^2). Realmente hubiera sido temerario hacer trabajar por encima de estos valores a vigas de arenisca de estructura granulosa. En cuanto a las columnas, su diámetro medio es 1/6 de su altura, aproximadamente la proporción del Partenón.

Estas cifras, lejos de revelar una prudencia que exagera las dimensiones manifiestan, por el contrario, una audacia comparable a la de los griegos. Si construyéramos hoy según el sistema egipcio, es decir, por pilares y dinteles, nosotros mismos no nos atreveríamos a reducir prácticamente en nada la cantidad de material empleado por los arquitectos de Ramsés. Una vez admitido el espaciamiento entre los ejes de las columnas había que aceptar el enorme tamaño de los arquitrabes. Estando fijada la altura, el diámetro de los fustes no podría reducirse.

Ahorro en el aparejo: Los arquitrabes se fragmentan por razón de economía (p. 60, fig. 54 N). Para los fustes y los capiteles, se contentan con bloques en todo comparables a nuestras grandes piedras de aparejo. La altura de las hiladas no supera los 3 pies y los tambores se dividen en sectores de fácil extracción y cómodo manejo.

Disposiciones destinadas a evitar las pérdidas de material: En el templo de la Esfinge, la luz de los dinteles varía de un tramo a otro. En la sala hipóstila de Karnak, la anchura de los tramos va disminuyendo a medida que se alejan del eje.

Seguramente, para edificios de esta importancia, el arquitecto tuvo el cuidado de marcar con estacas sobre el terreno los centros de los pilares uniformemente espaciados. Pero los tramos desiguales de Karnak y del templo de de la Esfinge se explican por la misma razón que la desigualdad de los colosos del Ramesseum o los obeliscos de Luxor y es, que los bloques de los arquitrabes o las losas de los techos no se encuentran normalmente con esa forma ya en la cantera y se toman pues, como salen de ella, se clasifican por longitud y se hace variar en consecuencia el espaciado entre apoyos. Aquí, la búsqueda de economía se ha llevado hasta el sacrificio de la regularidad.

6
Métodos de transporte y elevación

Todas las operaciones en la obra que pueden realizarse sin maquinaria, como los movimientos de tierras o la elevación de los ladrillos, se llevan a cabo a brazo (según indican las pinturas).

Para las piedras, el modo de transporte es la tracción pura y simple, o bien el método por deslizamiento, más elemental todavía.

Los instrumentos para el levantamiento se reducen a dos: la palanca y un aparejo que describiremos con el nombre de balancín elevador, descubrimiento todavía inédito del Sr. Georges Legrain, sabio Inspector de Karnak, al que nunca podremos agradecer bastante el habérnoslo dado a conocer.

Transporte de las piedras a pie de obra

Empleo de palancas y explanaciones

La tracción supone el empleo de cuerdas. El método por deslizamiento sólo exige palancas y comporta dos operaciones distintas: elevar el bloque y hacerlo deslizar. Las figuras 59 y 60 muestran cómo pueden llevarse a cabo estas dos operaciones.

ELEVACIÓN: Por pesado que sea el bloque, no hay nada más fácil que elevarlo aplicando una serie de palancas cargadas con contrapesos a lo largo de toda su longitud (fig. 59 M). Así, admitiendo, para fijar las ideas, que se quiera quintuplicar el esfuerzo, un cálculo muy simple demuestra que con la ayuda de un pequeño lastre colocado sobre palancas de grosor ligeramente inferior al de nuestras viguetas de forjado, se removerán bloques enormes.

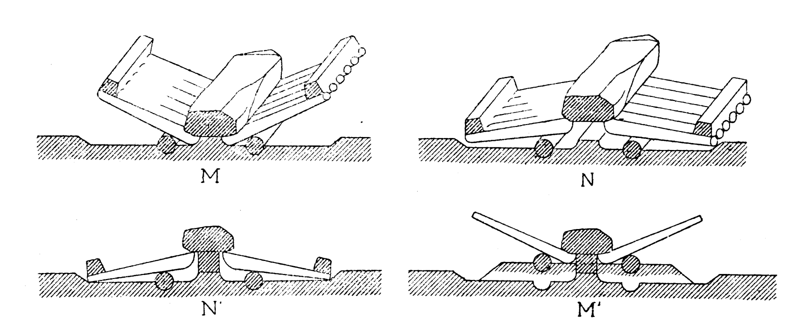


Figura 59
Sistema de elevación de los bloques de piedra

AVANCE EN LÍNEA RECTA: Imaginemos la piedra basculando sobre las palancas (posición N). Rellenamos con tierra la cara inferior, después elevamos los puntos de apoyo de las palancas e iniciamos una nueva ascensión. A medida que la piedra se eleva, también lo hace el macizo que la soporta.

Prolonguemos este macizo según una superficie inclinada, un firme en pendiente X (fig. 60). La piedra deslizará entonces sobre este firme debido a su peso y llegará así a la posición B, donde volvemos a comenzar. Es decir, hacemos avanzar la piedra por redientes y, si hace falta, en sentido contrario a la inclinación natural del terreno (R).

CAMBIOS DE DIRECCIÓN: Si se quiere cambiar la dirección de la marcha, bastará con un canto rodado T como pivote de rotación. De este modo, mediante traslaciones y rotaciones, se transportará el bloque hasta el emplazamiento para él destinado.

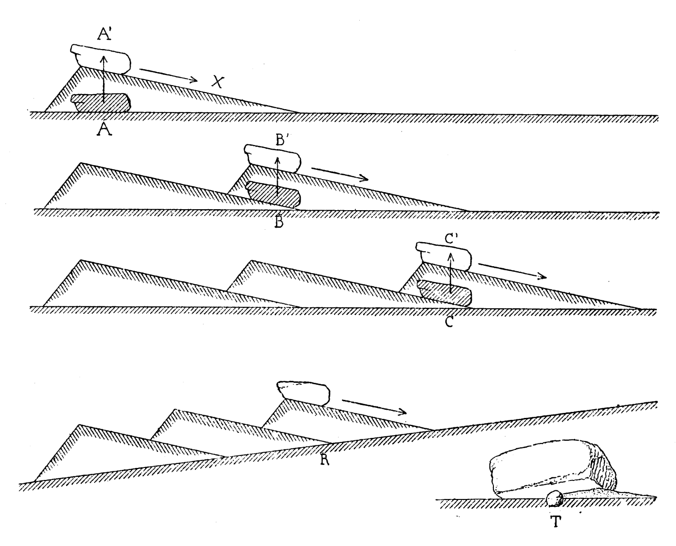


Figura 60
Transporte de los bloques por deslizamiento sobre rampas escalonadas

Transporte por tracción

En el sistema por tracción, los cables pueden actuar directamente sobre el bloque, que será arrastrado sin elementos intermedios sobre el firme. Sin embargo, normalmente se atenúa la resistencia al deslizamiento interponiendo entre el bloque y el terreno un trineo al que se enganchan los cables motores.

En cuanto a los vehículos con ruedas, se deduce de las investigaciones del Sr. Forestier que no se emplearon antes de la XVIII dinastía.

EL TRINEO: Por los restos existentes sabemos que el armazón del trineo se reducía a dos largueros unidos mediante traviesas. La figura 61 *a* es la interpretación de un trineo representado en las canteras de El Masara.

- Avance. La tracción es ejercida por dos bueyes y el enganche parece dispuesto de tal modo que el cable motor sirve al mismo tiempo para fijar el bloque sobre los largueros.
- Cambios de dirección. En cuanto a los cambios de dirección, el trineo no puede realizarlos rozando sobre el terreno, ya que los largueros se separarían.

Se evita entonces cualquier posible daño adaptando el pivote de rotación a una traviesa (fig. 61 *c*).

– Riego y regularización del terreno. Las pinturas nos muestran trineos avanzando sobre un terreno humedecido. Esto implica un terreno muy firme que el riego convierte en deslizante y así es, en efecto, el limo del valle durante las estaciones de sequía.

En general, el terreno es llano. Cuando una pendiente excepcional aparece en el trayecto, los Egipcios no dudan en regularizarla mediante la construcción de calzadas de acceso (meseta de Gizé).

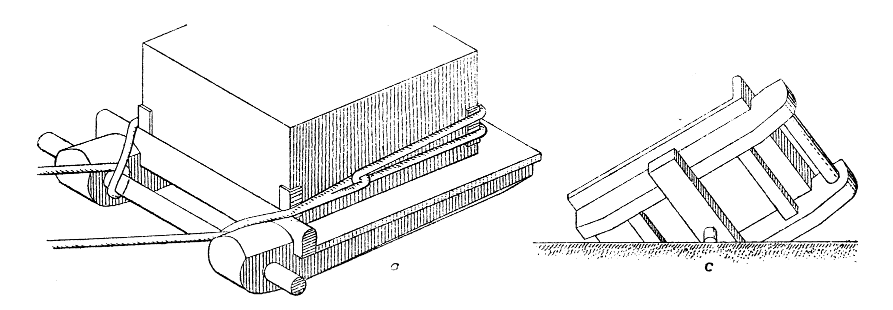


Figura 61
Interpretación de un trineo representado en las canteras de El Masara

Maniobra de los bloques en la obra

Consideremos la piedra a pie de obra y examinemos los métodos empleados para izarla sobre la fábrica. Hasta nosotros han llegado construcciones inacabadas, flanqueadas por montones escalonados de tierra cuyas gradas fueron utilizadas, según todas las apariencias, para la puesta en obra de los bloques. Si admitimos, sin entrar por el momento en los detalles de la instalación, la existencia de una escalera de este tipo, el avance del trabajo se explica por sí mismo.

Puesta en obra mediante palancas

Por elevación y calce progresivo alcanza el bloque un nivel superior al de la primera grada (fig.62 *a*). Después, por medio de una corredera (*b*) se le hace pasar al segundo escalón. Y así, sucesivamente.

Veamos con más detalle el programa de las operaciones de calce. Con la ayuda de la palanca (*a*′) se lleva el bloque de la posición horizontal a una inclinada, se rellena el espacio liberado por debajo (*a*″) con una capa de tierra *n* que deja en voladizo el centro de gravedad, y se deja al bloque girar de nuevo hacia atrás, que queda de este modo elevado sobre todo el espesor de la capa de calce. La maniobra se repite tantas veces como haga falta, ascendiendo así progresivamente el bloque.

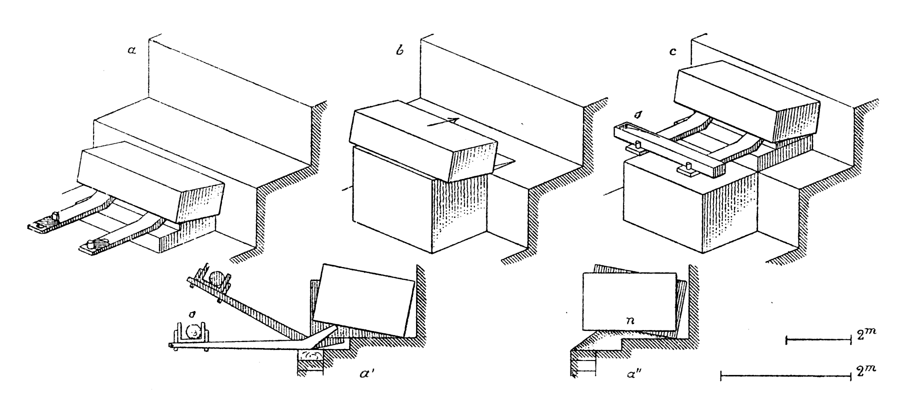


Figura 62
Empleo de palancas para la puesta en obra de los bloques

Puesta en obra con el balancín elevador

El uso de palancas sólo es aplicable a bloques destinados a vigas o dinteles, que alcanzan pesos de 30 toneladas. Para las piedras ordinarias, se emplea el balancín elevador.

Disposición y funcionamiento del aparato: Desde hace mucho tiempo se ha observado, entre los instrumentos reproducidos en los depósitos de las cimentaciones, una especie de cuna de madera con el aspecto de la figura 63, esto es, dos

piezas laterales o camones con forma de arco de círculo, normalmente recortadas en sus extremos y unidas por cuatro o cinco traviesas.

En el museo de El Cairo se encuentran ejemplares muy hermosos que responden a esta descripción y el Louvre posee 21. Evidentemente, el objeto era de uso corriente. ¿Se trata de la cimbra de una bóveda?

Las bóvedas tienen muy raramente un perfil en arco de círculo, y casi todas están ejecutadas sin cimbra. Además, algunos ejemplares llevan inscripciones que quedarían invertidas si se tratase de cimbras. Es, pues, en otro orden de ideas donde hay que investigar y donde el Sr. Legrain ha encontrado la explicación.

Hagamos bascular el aparato (fig. 64). Durante la oscilación la parte *a´* se eleva. Si deslizamos un calzo *c* y dejamos que retroceda, todo el sistema se habrá elevado una altura igual al espesor del calzo *c.* A una nueva oscilación, corresponde un nuevo ascenso, es decir, el aparato es un elevador. Si colocamos sobre los camones un bloque, será posible elevarlo. Se trata de una máquina de trabajo, de una palanca perfeccionada. Examinemos más de cerca el modo de funcionamiento.

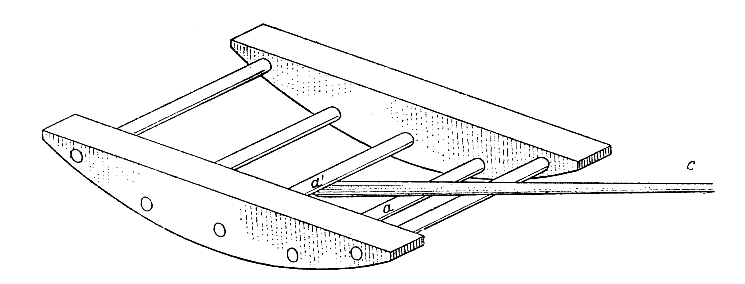


Figura 63
Aparato utilizado para la elevación de los bloques

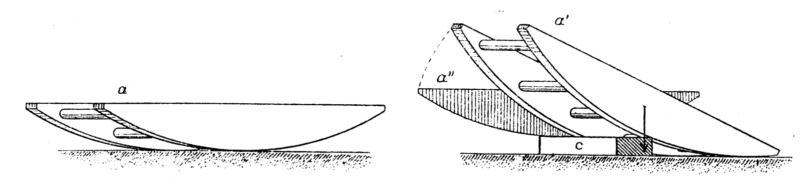


Figura 64
Funcionamiento del balancín elevador

Detalles del funcionamiento

CARGA: Con el balancín calzado en A y unido mediante unos tablones *n* a una rampa de carga *a*, se sube la piedra por arrastre y después (B), se retiran los tablones (fig. 65). La inmovilización del bloque se asegura entonces por medio de frenos *c* y, si es preciso, por un cordaje envolvente. Una vez terminado el proceso de carga, se empuja o se tira del balancín hasta el pie de la escalera de ascensión, donde sólo queda hacerlo oscilar.

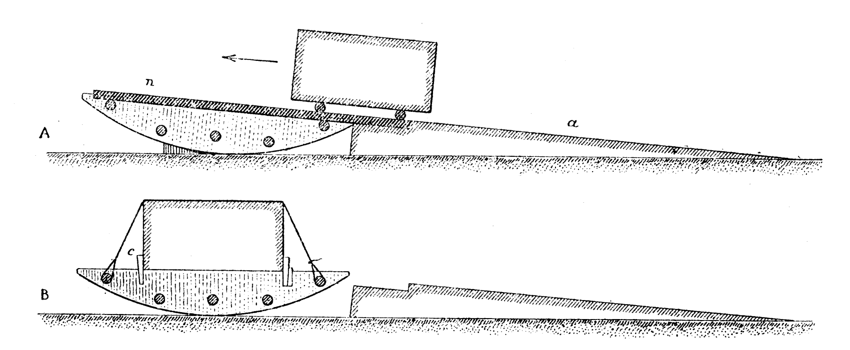


Figura 65
Carga y atado del bloque sobre el balancín elevador

OSCILACIÓN. VENTAJA DE LA CARGA EXCÉNTRICA: El movimiento basculante se obtiene por medio de una palanca *c* apoyada en la traviesa *a*, que a su vez pasa bajo la *a´* (fig. 63). Sobre la forma de accionar la palanca, se puede imaginar una escala de cuerda sobre la que, sin emplear el menor esfuerzo muscular, los trabajadores aplicarían su propio peso (fig. 66 A).

Por otro lado, la amplitud de la oscilación resultaría pequeña si la posición de partida fuera horizontal (fig. 67 M). Pero admitamos (variante N) que el balancín se carga excéntricamente. Su posición inicial sufrirá una inclinación hacia atrás y la amplitud de la oscilación, en lugar de reducirse al arco TB, pasará a ser el T´B´. Además, el relleno *c´* que se usa como calzo podrá ser más grueso y la maniobra se acelerará otro tanto. Conviene, pues, cargar el balancín en un extremo.

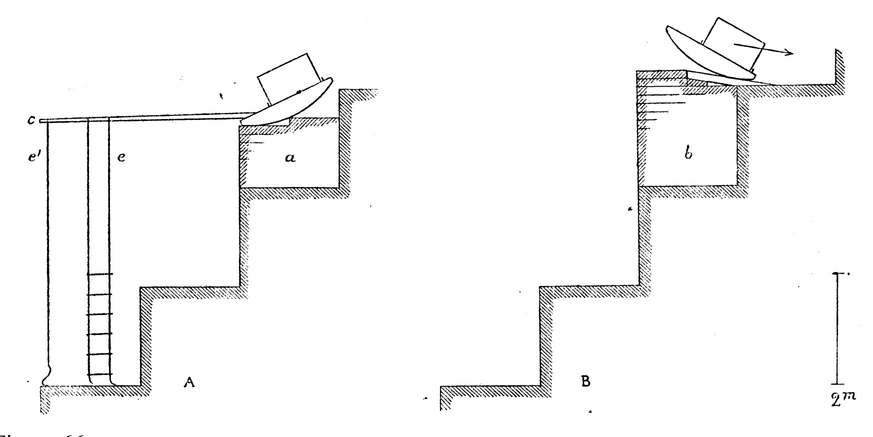


Figura 66
Puesta en marcha del movimiento basculante del balancín

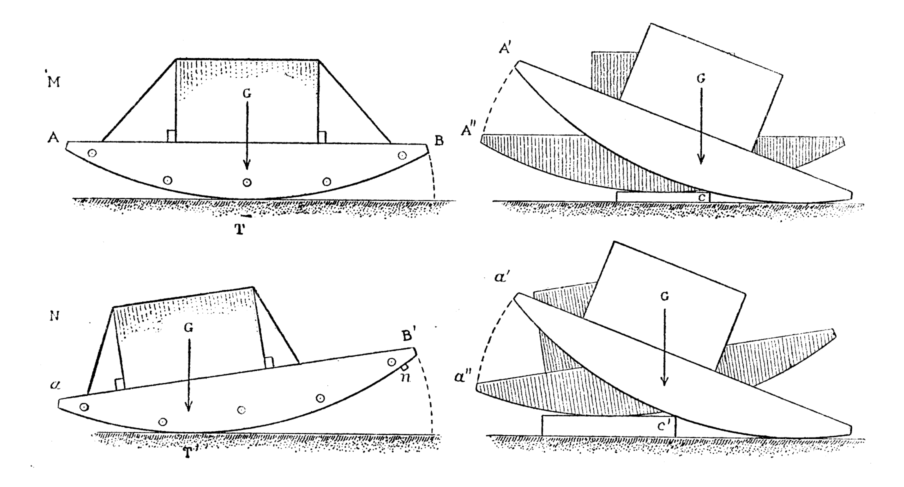


Figura 67
Incremento de la amplitud de la oscilación por aplicación excéntrica de la carga

CALZOS: A medida que se eleva, la pila de maderos de calce se vuelve cada vez menos estable. Es importante, pues, trabarla y restringir su altura, siendo el límite que indica la experiencia de unos 5 pies. La forma de apilado mostrada en la figura 68 impide asimismo el fallo por inestabilidad.

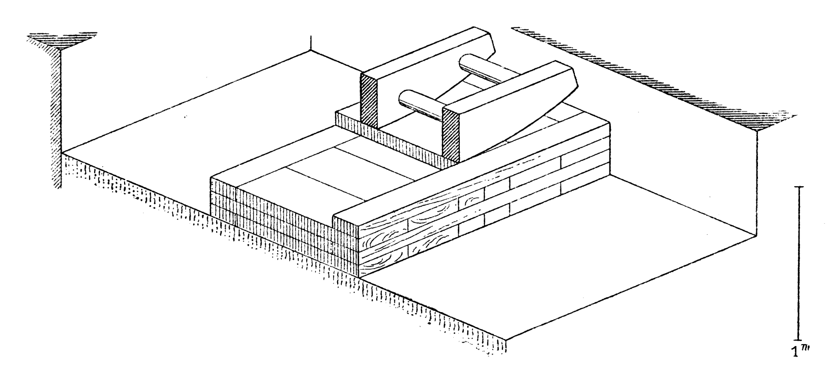


Figura 68
Apilado estable de los maderos de acuñado bajo el elevador oscilante

Paso de un escalón a otro: En cuanto al traslado de un nivel a otro, se realiza según el procedimiento indicado ya anteriormente, es decir, por deslizamiento sobre tablones (fig. 66 B). Por último, la piedra se recibe sobre rodillos para trasladarla a su posición definitiva.

Aplicación al transporte terrestre: Si es necesario, el aparato puede emplearse como trineo y, tanto en el caso del trineo elevador como en el del trineo sencillo, la única maniobra delicada consiste en hacer girar el vehículo, en cambiar la dirección de su marcha. En ambos casos la solución es la misma y a ella nos referimos en la figura 69.

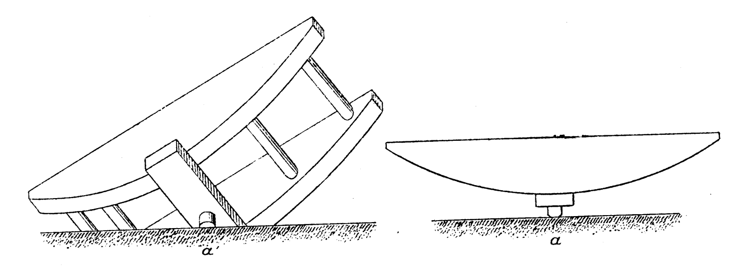


Figura 69
Maniobra para el cambio de dirección en la marcha del trineo elevador

Rendimiento del elevador oscilante

ESFUERZO NECESARIO PARA ELEVAR EL BLOQUE: Sea Q el peso del bloque, P el esfuerzo que lo equilibra y q, p, los brazos de palanca de estas dos fuerzas (fig. 70 A). Planteando la igualdad de momentos respecto al punto de apoyo se obtiene:

$$P = Q \frac{q}{p}$$

ALTURA DE LA ELEVACIÓN: Llamemos a, a la altura del centro de gravedad en la posición de reposo; α, a la amplitud angular de la oscilación y x, al espesor del calzo (fig. 70 B). La posición límite de este calzo corresponde a la vertical que pasa por el centro de gravedad elevado y se tiene así que:

$$q^2 = x\,(2R - x)$$
$$q = (R - a)\sin\alpha$$

Al ser x y α muy pequeños, despreciamos el término x^2 y reemplazamos sin α por el arco l/R, de donde resulta:

$$x = \frac{l^2(R - a)^2}{2R^3}$$

Puede verse entonces que x es sensiblemente proporcional a l^2 y crece a medida que a disminuye. De ahí la utilidad de un gran arco de oscilación (p. 74), y de un sistema de carga que coloque el centro de gravedad tan bajo como sea posible.

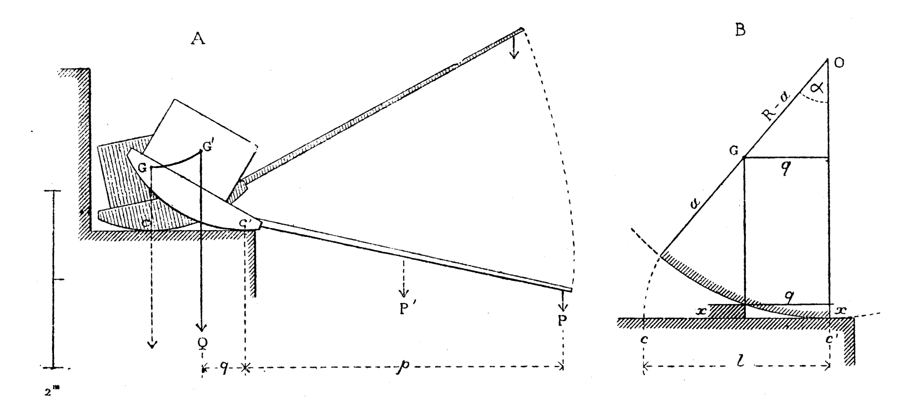


Figura 70
Equilibrio de fuerzas y parámetros geométricos del funcionamiento del balancín elevador

Aplicación numérica : Si se considera un elevador con las dimensiones de la figura 70 A, y un valor de Q = 1500 kg, se obtiene P = 200 kg, y x = 0,12 m. Es decir, un bloque con un peso de 1500 kg subirá 0,12 m con cada golpe de palanca, y para iniciar el movimiento bastará con 200 kg, el peso de, a lo sumo, tres hombres subidos a una escala de cuerda (p. 74).

Viendo estas cifras se puede comprender la simplicidad de medios con la que se efectúa la maniobra, la facilidad con la que se puede aprovisionar una obra mediante una serie de balancines escalonados sobre una escalera de ascenso. Sólo queda conocer los detalles de la propia escalera.

Las gradas de ascenso

Al exponer el funcionamiento de las máquinas hemos admitido, como un hecho a verificar más adelante, que la elevación se realizaba por escalones, con el bloque subiendo una tras otra las gradas de un macizo de tierra. Es en los grandes pilonos de Karnak donde el sistema ha dejado sus huellas más evidentes y cuatro ejemplos del mismo, ya que a cada cara de los dos pilonos corresponde un macizo auxiliar de elevación.

Estado actual de los terraplenes de Karnak

De los cuatro macizos, el mejor conservado es el que se reproduce en la figura 71 y en la lám. XIV, donde pueden distinguirse una serie de espolones de adobe, entrelazados por muretes transversales, y más espaciados en la mitad izquierda que en la derecha.

Su contorno está marcado sobre el paramento del pilono por los mechinales *n* donde se empotraban las viguetas de los cobertizos que los antiguos *fellahs* (campesinos) levantaron sobre el montículo. Este contorno es un triángulo con 4/5 de pendiente, donde uno de los lados *aa´* arranca del pórtico *a* y el otro llegaba hasta la jamba *c* de la puerta central.

En cuanto al perfil transversal, está marcado sobre los paramentos del pórtico *a*, ya que en la parte invadida por las tierras éste no pudo ser retundido y, como resultado, el capitel de una columna ha quedado sin labrar (lám. XV, 1). Siguiendo la línea donde se interrumpe la labra, se deduce una inclinación de 45º.

Así pues, existen dos secciones muy claras que definen la forma general. El macizo era una semipirámide, una pirámide seccionada diagonalmente por el pilono.

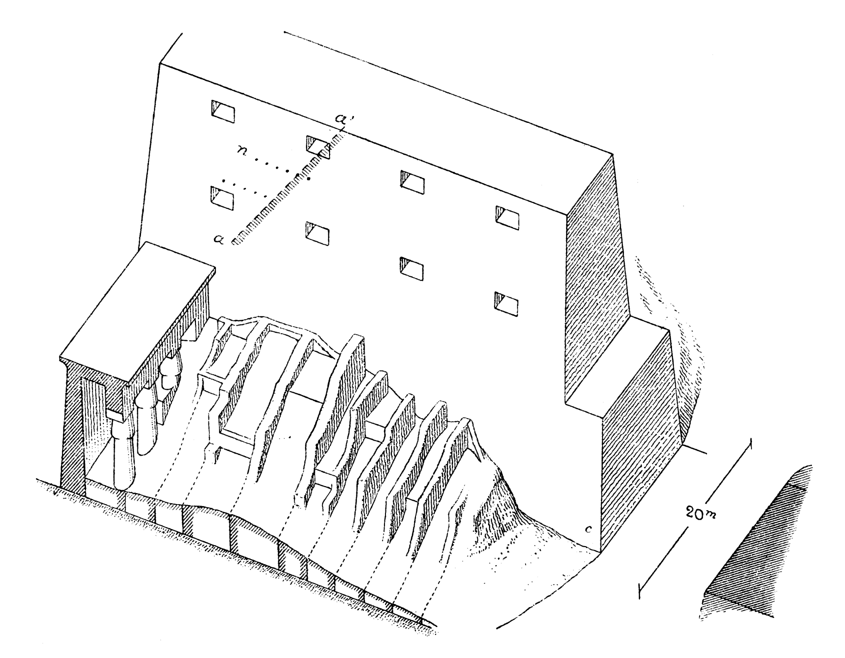


Figura 71
Estado actual de una de las gradas de elevación de materiales en Karnak

Reconstitución y función

Vamos a intentar interpretar los indicios suministrados por la retícula de muros que constituyen el esqueleto del terraplén.

ESCALERA Y NO RAMPA: La primera idea que viene a la mente es la de planos inclinados, rampas continuas a las que los muros-estribo habrían servido de zancas, y sobre las que los materiales habrían sido remolcados por tracción. Por su parte, las zancas, que emergen progresivamente del macizo, no habrían corrido realmente riesgo de inclinarse bajo la acción del empuje. En lugar de una rampa ais-

lada elevándose a más de 30 m y prácticamente irrealizable, se trataría realmente de rampas yuxtapuestas, apoyadas entre sí.

Desde el punto de vista de la buena construcción, el sistema hubiera sido irreprochable. Pero no así desde el punto de vista de la facilidad de la puesta en obra, ya que los planos inclinados exigían un desarrollo en la base que la superficie del patio no permitía. La inclinación de una explanación que llegase hasta el remate del pilono hubiera sido de 1 de altura por 2 en la base, y para arrastrar un bloque de 15 toneladas hubieran hecho falta más de 500 hombres; ¿dónde colocarlos? Los pies habrían deslizado sobre la rampa y la fila de braceros no habría podido alojarse sobre la plataforma estrecha del remate. Además, en la hipótesis de una

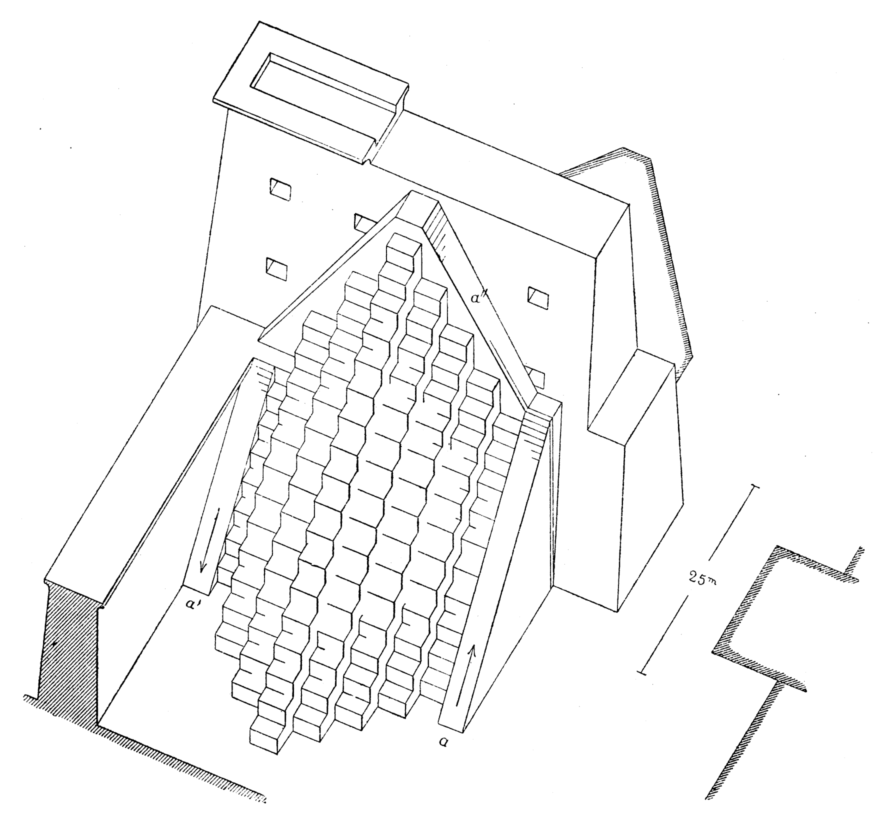


Figura 72
Reconstrucción de un terraplén por gradas en su estado final

simple explanación, ¿cómo justificar los muretes transversales? El arriostramiento que proporcionan no habría contribuido en nada a la estabilidad. ¿No es más fácil admitir que esos muros eran las contrahuellas de una escalera, sobre la cual los materiales se subirían gradualmente? En lugar de rampas continuas, se tendría entonces una disposición por escalones o gradas, como la indicada en la figura 72.

TRAZADO DE LA ESCALERA: La huella de los escalones se conoce por medición *in situ* y puede estimarse aproximadamente en 5 pies. Sabiendo que la inclinación de la escalera es de 45º, se puede decir que esta cifra de 5 pies representa también la altura de los escalones.

Estas dimensiones parecen muy acertadas. La profundidad es suficiente para las operaciones con el balancín (p. 76) y la altura es lo bastante reducida como para que la pila de maderos de calce no corra el riesgo de desplomarse (p. 75).

En la parte izquierda existen dos tramos de gran huella, sobre los cuales se pueden mover, con la ayuda de palancas (p. 71), los bloques voluminosos destinados a dinteles de los vanos.

Así concebida, la fábrica auxiliar responde a todas las necesidades de la obra y, en lugar de los esfuerzos que hubiera exigido la tracción sobre una rampa, basta con tres hombres para elevar un bloque (p. 76).

ASPECTO DE LA ESCALERA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN: La figura 72 representa el macizo cuando éste alcanza la cima del pilono y la figura 73, durante el proceso de ejecución.

Los tramos laterales son superados poco a poco en altura por el pilono en construcción. Uno tras otro dejan así de ser útiles para la puesta en obra y sólo sirven de apoyo a los tramos centrales. Los más anchos llegan exactamente a la altura que permite la colocación de los grandes dinteles y, al llegar al remate, no queda más que un tramo abierto, el central.

En todo momento, el macizo se enrasa según una plataforma triangular. Esta plataforma debe estar siempre nivelada con la fábrica del pilono y se puede elevar, tramo por tramo, sin interrumpir el trabajo de los obreros.

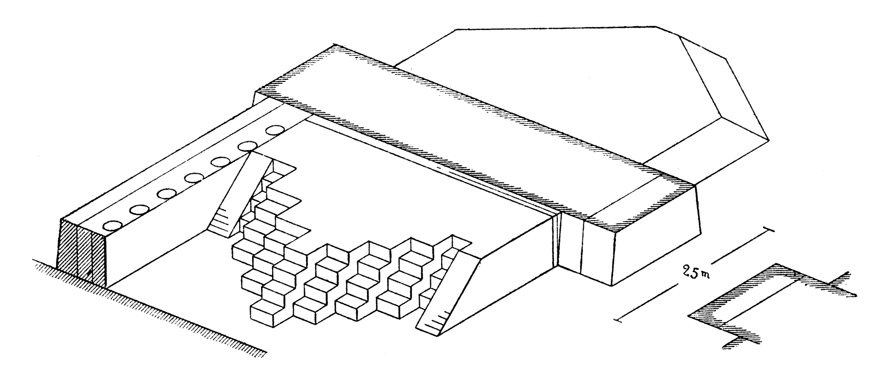


Figura 73
Reconstrucción de un terraplén por gradas durante el proceso de ejecución

ANDENES DE SERVICIO: Además de la elevación de la piedras, hay que asegurar la de los ladrillos y los rellenos de tierra, esto es, hay que atender a la circulación de los obreros. Ahora bien, (fig. 72) un murete vertical deja, entre pilono y terraplén, un intervalo *a″* donde cabría perfectamente un andén de servicio. A este andén se puede acceder a través de *a* y *a′*. Por *a* subirían cargados los porteadores de ladrillos o de tierras y por *a′*, descenderían de vacío.

DETALLES DE EJECUCIÓN: La figura 74 muestra los detalles estructurales que no han podido reflejarse en las figuras de conjunto y también, la ligereza de los muros de ladrillo que forman el esqueleto del macizo. Para impedir que los espolones se inclinasen bajo el empuje de los rellenos de tierra, se tuvo la precaución de unirlos dos a dos enlazándolos con los troncos de palmera T.

Todos los muros-espolones brotan directamente del terreno. ¿Arrancan también desde la base los muretes transversales? No hemos podido verificarlo. Por último, se distinguen en la fábrica capas de cascote C, reconocibles en la fotografía de la lám. XV 2 y provenientes, al parecer, del enrase *in situ* de los lechos del aparejo (p. 50).

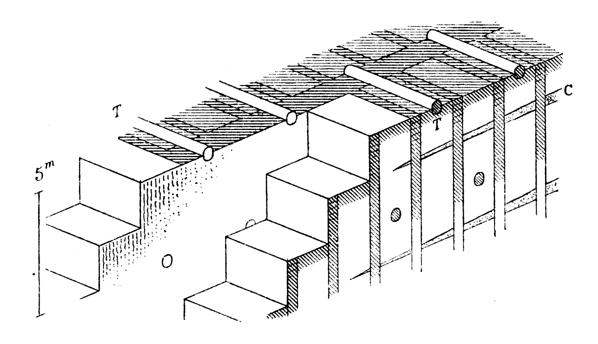


Figura 74
Detalles de la estructura interna de los terraplenes por gradas

CONSTRUCCIÓN DE LOS PÓRTICOS: El macizo que acabamos de describir no sirve solamente para la construcción del pilono, sino que permite levantar, al mismo tiempo, el pórtico que bordea el patio.

Este pórtico se llenaba de tierra, contenida por una pantalla de ladrillo cuyos restos se conservan (láms. XV, 1, XVI, 1). Las gradas de elevación del pilono permitían después subir los materiales del pórtico, que avanzaban sobre el enrase del terraplén y llegaban sin dificultad a su emplazamiento (fig. 73, p. 81).

Elevación por gradas y elevación por suspensión

Los pilonos y los pórticos del gran patio de Karnak datan probablemente de las dinastías griegas, pero los procedimientos que en ellos se observan son totalmente egipcios.

El sistema griego, que es el nuestro, consiste en subir los materiales con la ayuda de máquinas con poleas y polipastos tales como cabrias, caballetes o árganas, y siempre que se ha utilizado ha dejado huellas. Así, las piedras conservan los orificios de las tenazas y castañuelas, o las ranuras en U que servían de asidero para los cordajes. Sin embargo, ninguna de estas marcas se encuentra en Karnak.

Con la cabria se agrupan los materiales a pie de obra para elevarlos de una vez. Las gradas o los descansillos serían superfluos y no harían más que compli-

car la maniobra. La presencia de estos descansillos, la ausencia de toda posible entalladura para sujeción, confirman pues, la idea de un método donde las máquinas de polipastos no tienen lugar.

Incluso en épocas más recientes, los indicios que revelarían el empleo de estos aparatos son raros, al menos equívocos. En un país que siempre ha vivido sobre el cimiento de las tradiciones, parece obligado creer que el viejo sistema no se abandonó nunca.

7

La construcción de templos y pirámides

Los métodos de la construcción de cantería se aplican principalmente en los templos y en las tumbas. Vamos a intentar descubrir cómo se adapta a estos edificios el proceso constructivo que ha quedado escrito en los pilonos de Karnak y, como consecuencia, las influencias que ejerce en su estructura.

Templos

El empleo de macizos o terraplenes en lugar de andamiajes de madera parece totalmente indicado. Si se observa la planta de un templo egipcio, resulta asombroso el reducido tamaño de los espacios vacíos, ya que las columnas, cuya separación está limitada por la luz de las losas del techo, se aproximan mucho entre sí. Rellenar con tierra los intervalos supondría entonces un gasto insignificante y, desde el punto de vista de la puesta en obra, un recurso precioso.

Salas hipóstilas

Imagínese el recinto de la sala lleno de un montón de tierra cuyo nivel crece a medida que se elevan las columnas y los muros (fig. 75), y gradas de ladrillo

similares a las de los pilonos de Karnak, que permiten elevar los materiales sobre el terraplén. Este terraplén, que se eleva progresivamente, constituirá una plataforma de colocación donde todas las maniobras se realizarán con la misma facilidad que sobre el mismo suelo.

CASO GENERAL: Si en el perímetro existe un espacio libre donde puedan desarrollarse las gradas de puesta en obra, el método será exactamente igual que el que conocemos de la construcción de Karnak. Se construirá entonces la sala (fig. 75) igual que se ha construido el pórtico del gran patio (p. 82), que no es, en suma, sino una sala hipóstila de un solo tramo.

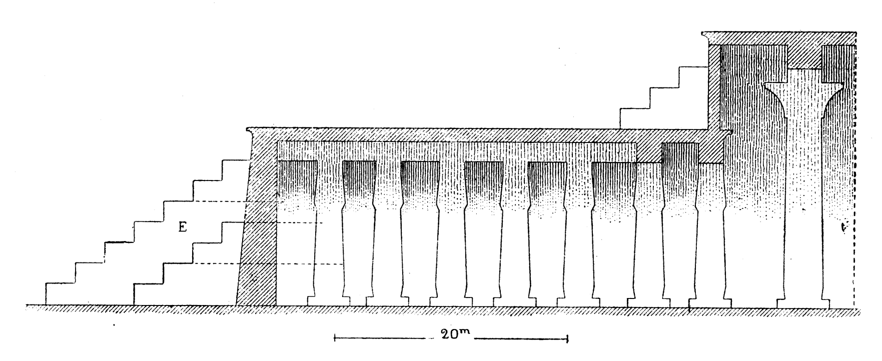


Figura 75
Construcción de una sala hipóstila con gradas auxiliares de montaje

VARIANTE: Pero el espacio puede ser escaso. Entonces se traslada hacia el interior, a una brecha V, la parte de grada que no cabe en el exterior y, para terminar la operación, se rellena aquélla con la ayuda de materiales T provisionalmente almacenados sobre la plataforma (fig. 76).

Pórticos y muros de cerramiento

Este artificio, que permite suplir la falta de espacio, se ha mencionado a propósito de las construcciones de ladrillo. Veamos su aplicación al caso del muro de piedra *a* y del pórtico *c* (fig. 77).

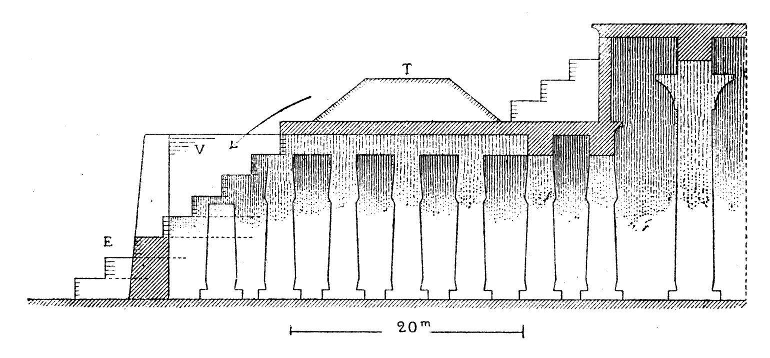


Figura 76
Variante del sistema de construcción por gradas de ladrillo

Para la puesta en obra se utilizan las propias hiladas del aparejo, excepto un grupo de dos o tres que, con la ayuda de ladrillos, se convierten en un escalón de gran huella sobre el que el balancín elevador puede oscilar libremente. Así fueron elevados, probablemente, los muros que rodean los caminos de ronda de los templos, y así lo fueron los pórticos que no tuvieron el recurso de una construcción auxiliar como en Karnak (p. 82).

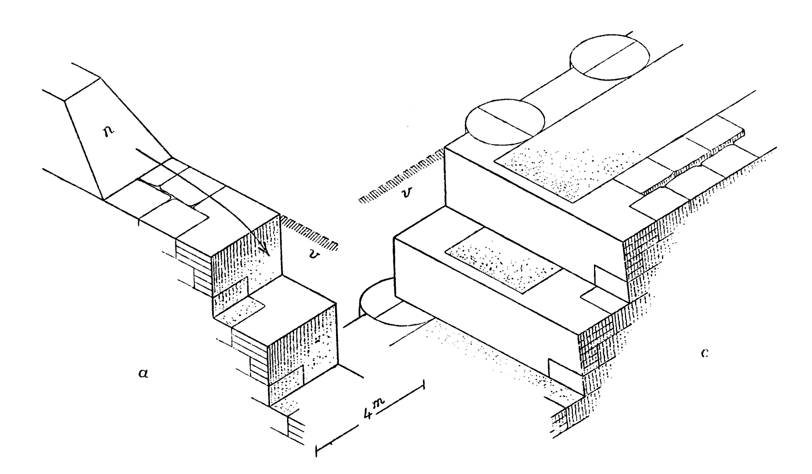


Figura 77
Construcción por gradas de un muro de cerramiento (*a*) y un pórtico (*c*)

Andamiajes para el retundido

La labra definitiva, al menos en el interior de las salas, no requiere ninguna instalación especial. Retirando la tierra se obtiene una plataforma que desciende a medida de las necesidades. Los paramentos exteriores, y puede que algunos trabajos de remate, se ejecutan con la ayuda de andamios volantes, cuyos mechinales de anclaje se distinguen a lo largo de las terrazas de Edfú y en el reborde de los grandes capiteles de Karnak (láms. XIX, 2, XVIII, 2).

En la sala hipóstila de Karnak, además de los anclajes de los andamios volantes, se distinguen montones de tierra contenidos por paramentos de ladrillo, que corresponden a las partes del edificio donde la decoración ha quedado en estado inacabada (fig. 78, lám. XVI, 2). El Sr. Legrain, que ha tenido a bien indicarnos su presencia, los interpreta así: Ramsés II, impaciente por gozar de su obra, habría hecho vaciar la sala antes de su completa terminación; ahora bien, algunos tramos menos a la vista permanecían aún en estado de desbaste y para labrarlos se dispusieron nuevos rellenos de tierra, pero un final inesperado interrumpe el trabajo y los rellenos permanecen todavía allí.

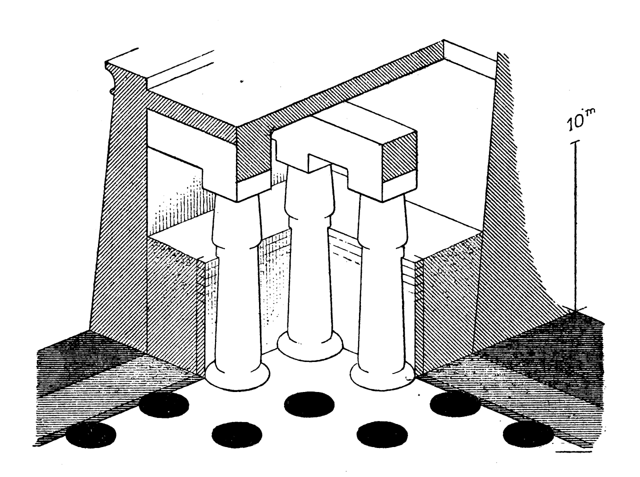


Figura 78
Rellenos de tierra auxiliares para la labra definitiva de la sala hipóstila de Karnak

Pirámides

Salvo raras excepciones como la tumba de Ounas en Sakara, las pirámides están construidas por aplicación sucesiva de capas de fábrica a las caras de un piramidón central. Se trata de masas regruesadas progresivamente que, como inmensos cristales, crecen por capas que se envuelven unas a otras. De no ser así, difícilmente podríamos concebir (fig. 79 A, Micerinos) cámaras subterráneas como la *a*, cuyos corredores de acceso se pierden en la masa al quedar la entrada *c*, abierta en su origen, bloqueada por el crecimiento de la pirámide.

Otros corredores *c´* se prolongan a través de capas que, sin duda, no estaban previstas en el proyecto primitivo y, en lugar de llegar a nivel del suelo, van a desembocar a puntos como el *b*. El crecimiento por envolventes puede entonces considerarse como la norma general.

Recorreremos, siguiendo este orden de ideas, los ejemplos principales, a comenzar por las pirámides de caras planas, como la de Gizeh.

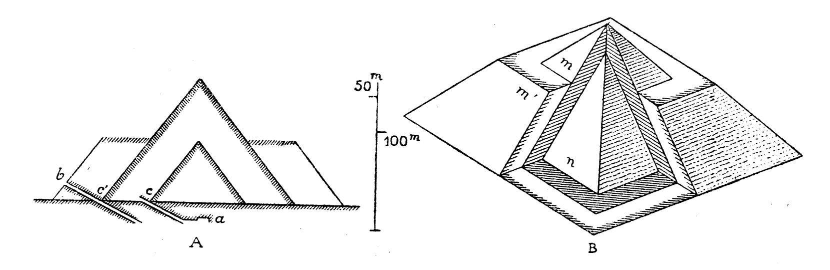


Figura 79
Construcción de las pirámides por capas envolventes de fábrica. Pirámide de Micerinos (A)

Pirámide de Gizeh

ESTRUCTURA: Imagínese un núcleo *n* compuesto por hiladas de mampuestos y, encajada en los laterales, una capa *m* que se acopla lecho a lecho con la fábrica del núcleo (fig. 79 B). Éste es el aspecto de la pirámide en construcción donde, a su vez, la capa *m* será recubierta por otra *m´* y así, sucesivamente.

Los redientes que resultan del retranqueo progresivo de las hiladas aseguran la ligazón mutua entre las capas (fig. 80). En la última, que constituye la capa ex-

terior y recibe el revestimiento, se ha subordinado el aparejo al espesor de las piedras decorativas del paramento, que provienen de canteras con bancadas de menor altura. Así, dos hiladas exteriores equivalen a una hilada normal, resultando construida la última envoltura como indica la figura 80 B.

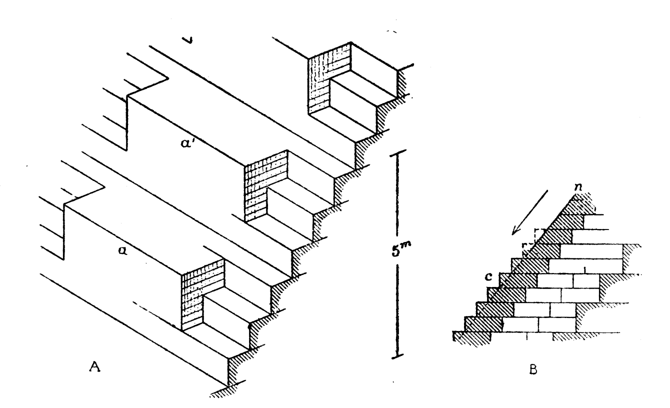


Figura 80
Detalles del aparejo escalonado de las hiladas en las pirámides

Reconstitución de la obra: Según una tradición recogida por Heródoto (II 124, 125), las piedras llegaron desde el Nilo hasta pie de obra a través de calzadas. Después, a modo de escalones, subían los retranqueos de las hiladas con la ayuda de una máquina realizada con pequeños maderos que, probablemente, añade él, se transportaba de grada en grada.

Las vías de transporte existen todavía y los escalones, creados de forma natural por el aparejo, se corresponden bastante bien con las gradas artificiales de Karnak. En cuanto a la máquina de elevación que se transporta con los bloques no es, probablemente, otra cosa que el balancín elevador. Ahora bien, aunque la hipótesis procede de la descripción de Heródoto, en un documento tan antiguo sólo debe considerarse como una idea de partida. Los retranqueos del aparejo no tendrían una huella de profundidad suficiente para la maniobra y haría falta entonces agrupar las gradas de dos en dos, con la ayuda de rellenos de ladrillo (fig. 80 A). Con esta condición el procedimiento se vuelve completamente factible. El

balancín elevador eleva los bloques hasta *a*, después hasta *a*´ y así, hasta el nivel de la hilada correspondiente.

Por otro lado, los laterales de la pirámide tienen suficiente desarrollo como para poder multiplicar las escaleras, en las que se pueden imaginar dos tipos de distinta anchura, unas destinadas a piedras de aparejo regular y las otras, a bloques de peso excepcional; unas adaptadas al empleo del balancín elevador (p. 74) y las otras, al empleo de palancas (p. 71).

Finalmente, además de estas escaleras de puesta en obra, es evidente la necesidad de escaleras de circulación para el servicio de la obra, que se alojan en los retranqueos.

EJECUCIÓN DE LAS GALERÍAS: Pasadizos de pendiente muy pronunciada atraviesan la fábrica. La estructura de una de estas galerías, con disposición rampante e hiladas en voladizo, se ha descrito anteriormente (p. 61, fig. 55 *c*). La figura siguiente explica ahora las fases de la construcción. En primer lugar, se construye la fábrica dejando abierta una hendidura en la zona donde se dispondrá la galería. Se elevan sobre la plataforma los bloques *a* destinados a los muros laterales y

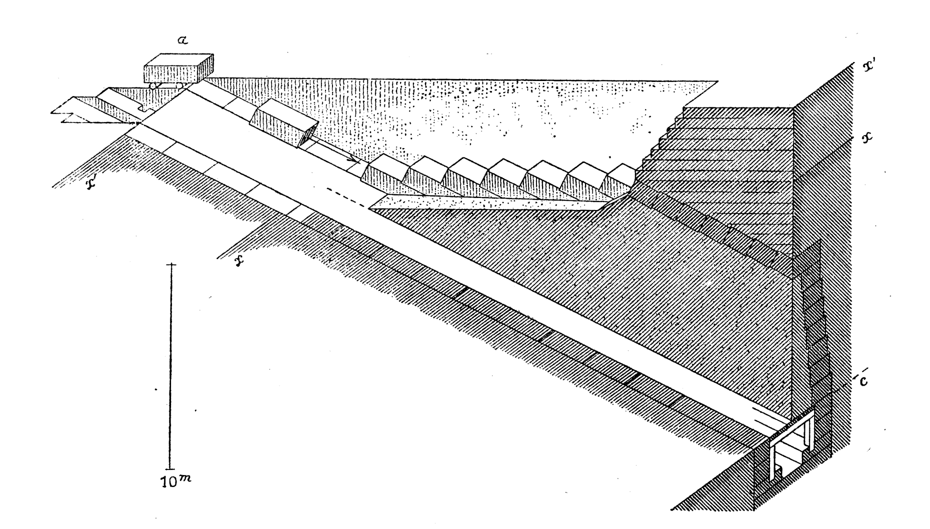


Figura 81
Fases constructivas de la galería de una pirámide

después se les hace descender por simple deslizamiento, actuando los lechos en pendiente como correderas. Por último, como las hiladas en voladizo podrían bascular, se sujetan con un relleno de tierra soportado por un forjado de madera sobre puntales, cuyas cajas son todavía hoy reconocibles.

RETUNDIDO: La operación del refundido consiste en suprimir, en achaflanar las esquinas de las piedras del paramento (fig. 80 B, p. 90). Según el método habitual (p. 52), se labraron en primer lugar las partes superiores: la pirámide, dice Heródoto, fue concluida (ἐξεποιήθη), comenzando por el remate. No hizo falta ninguna construcción auxiliar, ya que los bloques *c*, todavía sin labrar, formaban rellanos donde los obreros podían trabajar cómodamente.

FABRICACIÓN Y EMPLEO DE LOS MORTEROS: Salvo en las galerías y en las salas, donde las juntas son a hueso, el asiento entre los bloques está asegurado (p. 54) por una capa de mortero de yeso que, al ser de fraguado rápido, debe fabricarse in situ. Las fosas todavía abiertas al pie de las Pirámides servían aparentemente como depósitos para el yeso, o como cisternas para el agua de extinción.

Pirámide de Dahshur

El talud habitual de las pirámides supera los 45º. Si, como en Gizéh, la escalera de ascenso también supera esa pendiente, la inclinación será demasiado grande para que aquella resulte cómoda (p. 79). Ahora bien, la dificultad puede eliminarse.

Supongamos que queremos construir una pirámide con un talud *a* (fig. 82). Cualquiera que sea el valor de *a*, damos a las capas una inclinación *a´* cercana a los 45º. De este modo, sólo tendremos que sufrir el inconveniente de una pendiente *a* demasiado pronunciada hasta el nivel *v*, ya que a partir de ahí, la escalera tomará una inclinación normal.

Parece que éste fue el pensamiento de los constructores de Dahshur y de Matanié pero, su obra quedó, sin duda, interrumpida y el perfil quebrado *aa´* fue simplemente revestido. Por último, hay que hacer notar, en el paramento de Dahshur, una ligera inclinación de los lechos que impide a los bloques deslizar y caer al vacío.

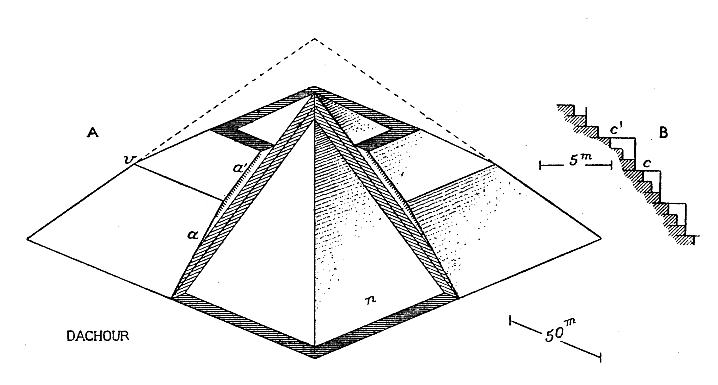


Figura 82
Perfil quebrado de la pirámide de Dahshur y gradas de elevación

Pirámide de Ounas

La pirámide de Ounas representa una solución económica con núcleo de mampostería, es decir, la fábrica es un apilamiento de mampuestos con una envoltura de piedra labrada.

Por lo demás, desde el punto de vista de la organización de la obra, esta pirámide no difiere en nada de las que acaban de describirse, ya que los bloques del paramento, antes de ser labrados, sirvieron como una escalera de puesta en obra extendida a toda la superficie.

Pirámides de ladrillo

En el caso de las pirámides de ladrillo, el proceso se simplifica. Ya no son necesarios los balancines elevadores ni amplias gradas. Todo el transporte se realiza manualmente y los porteadores ascienden, como si fueran escalones, sobre los retranqueos de las propias hiladas.

Por otro lado, la construcción avanza por capas y, generalmente, se reviste con un paramento de piedra. Además, estas pirámides ofrecen curiosos ejemplos de fábrica sobre lechos de arena (p. 10).

Pirámides escalonadas: Sakara

Llegamos a las construcciones escalonadas, de las que Sakara constituye un ejemplo tipo. La gran pirámide de Sakara contiene un grupo de tumbas, dos de las cuales, *a* y *c*, son visibles a través de las grietas (fig. 83, lám. XXII). Podría tratarse, en realidad, de la sepultura común de los Apis en el antiguo Imperio, ya que se presenta como una fábrica que engloba sus tumbas. Esta hipótesis explicaría la planta alargada impuesta por los emplazamientos a cubrir y la intrincada red de pasadizos.

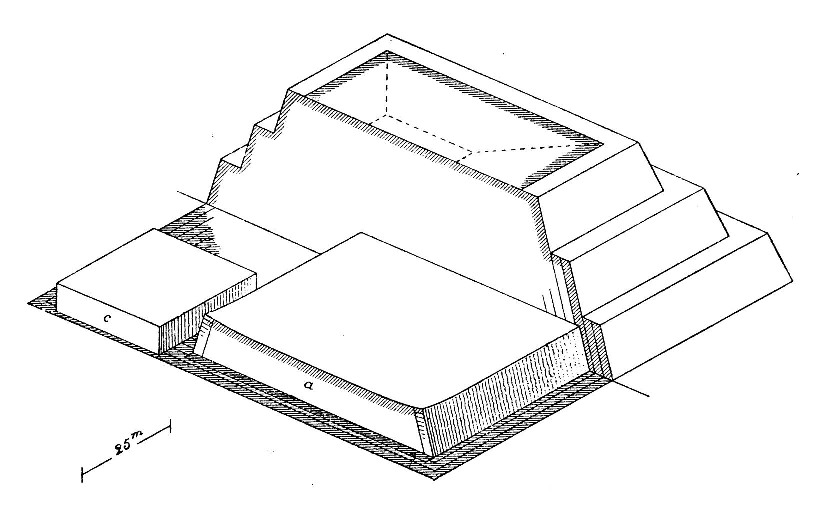


Figura 83
Sección transversal en perspectiva de la gran pirámide de Sakara y las tumbas contenidas en su interior

Estructura

Los materiales son mampuestos con un baño de mortero y los paramentos, inclinados, con una fábrica que se descompone en rebanadas pareadas *m*, construidas por lechos prácticamente perpendiculares a dichos paramentos (fig. 84).

Lo que caracteriza a la estructura es la absoluta independencia entre las rebanadas. La pirámide está cortada de arriba a abajo por planos continuos de separa-

ción, tal como se indica en la figura. Esta opción dispensa de acoplar lecho por lecho las hiladas existentes y se elimina así una grave limitación. Pero tiene como consecuencia una división que deberemos examinar desde el punto de vista de la estabilidad. Considerémoslo como un hecho y veamos cómo se realiza.

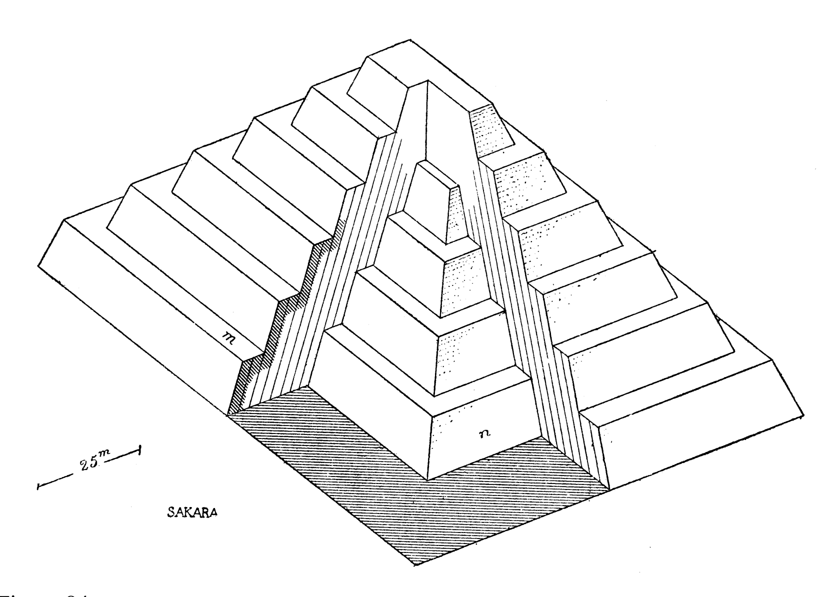


Figura 84
Estructura por rebanadas pareadas en la gran pirámide de Sakara.

Reconstitución de la obra

Consideremos la pirámide en la fase representada por la perspectiva sombreada de la figura 85 A, momento en el que va a construirse una nueva capa.

Las gradas de ascenso se alojan en los quiebros de la sección, apoyándose en los retranqueos existentes, se enrasan a nivel del tajo en construcción y se elevan simultáneamente con él. La hilada en construcción forma una especie de andén de servicio por donde circulan los bloques, sobre tablones y rodillos, desde la escalera de montaje hasta su ubicación definitiva.

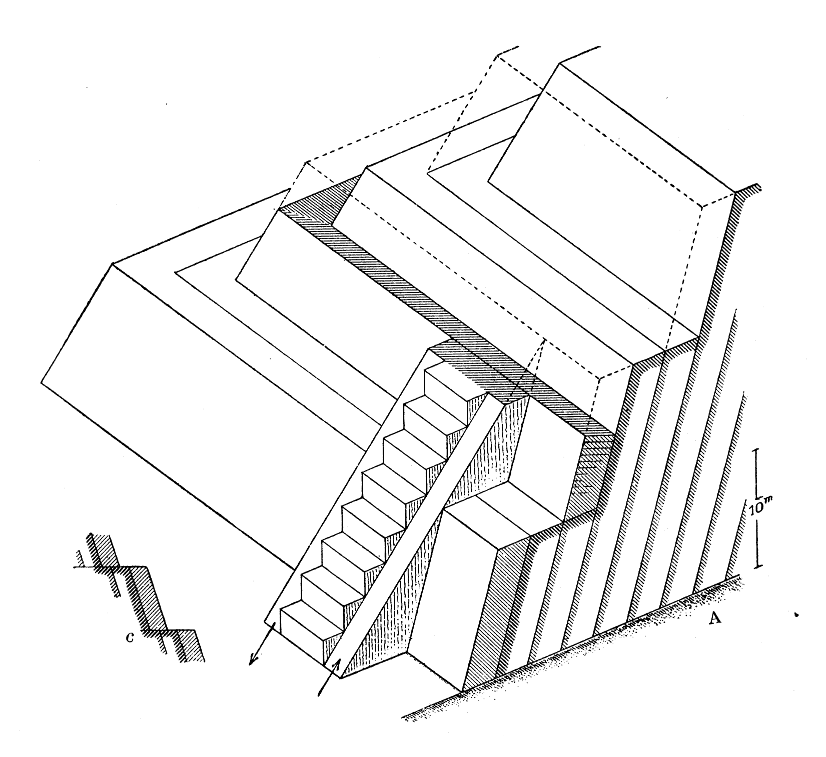


Figura 85
Escaleras de elevación y construcción por rebanadas en la gran pirámide de Sakara.

Las condiciones de estabilidad

En lo que concierne a la estabilidad, la estructura de Sakara plantea dos cuestiones: ¿Por qué, la inclinación de las rebanadas? ¿Por qué, su superposición sin trabazón?

Inclinación de las rebanadas: Las rebanadas inclinadas se apoyan entre sí, pero corren el riesgo de deslizar en la base. De hecho, sobre el terreno arcilloso del valle, el deslizamiento sería inevitable, pero éste no es el caso de las Pirámides. Todas ocupan emplazamientos lo bastante elevados por encima de las crecidas como para poner al resguardo de las aguas el depósito que les es confiado. La mayor parte descansan sobre roca. Todas, sobre un firme excelente.

APAREJO DESLIGADO: En cuanto al aparejo, las rebanadas yuxtapuestas sin ligazón producen inquietud a primera vista. Surge entonces la pregunta de si no hubiera sido mejor disponer entre ellas un encabalgamiento como el mostrado en el croquis *c* (fig. 85), pero pensamos que no. En el sistema trabado *c*, la rebanada en construcción apoyaría, por un lado, en fábricas todavía frescas y compresibles y, por otro, en fábricas ya cargadas. Correría así el riesgo de apoyar en falso. Es mejor pues, renunciar a la trabazón, pero dando a las rebanadas suficiente espesor para impedir el pandeo.

Además, la variante *c* complica la puesta en obra. La anchura de la plataforma se reduce a una vez y media el espesor de una rebanada y hay que optar entre dos opciones, dar a los escalones una altura superior a la límite de 5 pies (p. 79), o bien renunciar a la disposición simple de escalera recta y recurrir a tramos paralelos al paramento. Los constructores de Medum aceptaron esta última solución, pero los de Sakara decidieron evitarla.

Detalles de la pirámide y de las tumbas que contiene

Una particularidad señalada en numerosas ocasiones consiste en la ligera inclinación ascendente de las hiladas hacia las esquinas, así como los lechos en pendiente (lám. XXII). Esto nos remite a un caso ya estudiado (p. 17), donde el encuentro entre dos hiladas perpendiculares conduce a una elevación de la esquina.

Esta elevación también se observa aquí y no sólo en la pirámide, sino que se perfila, más acentuada, en la principal de las tumbas que encierra (tumba *a*, p. 94, fig. 83). Esta tumba estaba ejecutada –como más tarde, la pirámide– por rebanadas con una fuerte pendiente e hiladas muy inclinadas, y sus lechos ascienden de una forma muy clara hacia los extremos.

Medum

En Medum encontramos un perfil retranqueado construido reemplazando las fábricas macizas por rellenos de tierra, al menos parcialmente, y por motivos económicos.

Estructura

Las fotografías de la lámina XXIII reflejan el estado de la ruina y en la figura 86 se muestra la sección, donde aparece marcado por un sombreado el límite de las partes conservadas.En la pirámide de Sakara contábamos dos rebanadas pareadas por cada retranqueo. Aquí, a cada retranqueo corresponde una única rebanada.

En Sakara todas las rebanadas tenían una estructura uniforme. Aquí nos encontramos por orden, una rebanada de fábrica maciza *a* y dos rebanadas de terreno revestidas simplemente por un paramento *c*, *c*, alternancia que se repite en toda la fábrica.

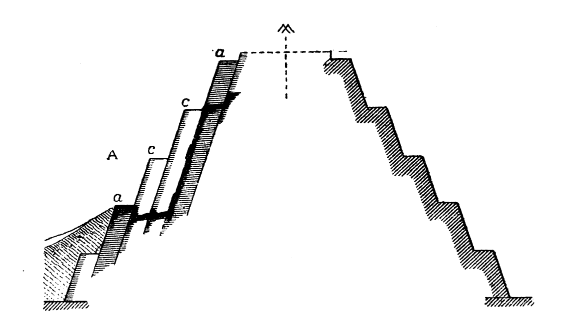


Figura 86
Sección transversal de la pirámide de Medum

Reconstitución de la obra

ESCALERAS DE MONTAJE: Evidentemente esta estructura se concilia con el empleo de un sistema de elevación por gradas. Pero la anchura de la plataforma es insuficiente para orientar los tramos perpendicularmente al paramento. Es imprescindible pues, recurrir a rampas paralelas al paramento, en otras palabras, adoptar, en lugar de la disposición en escalera recta (p. ** 106, fig. 85), la de escalinata mostrada en la figura 87.

FASES DE LA CONSTRUCCIÓN: Como la mayor parte de las pirámides, la de Medum pasa por varias etapas sucesivas de crecimiento. Ahora bien, cada vez que se aca-

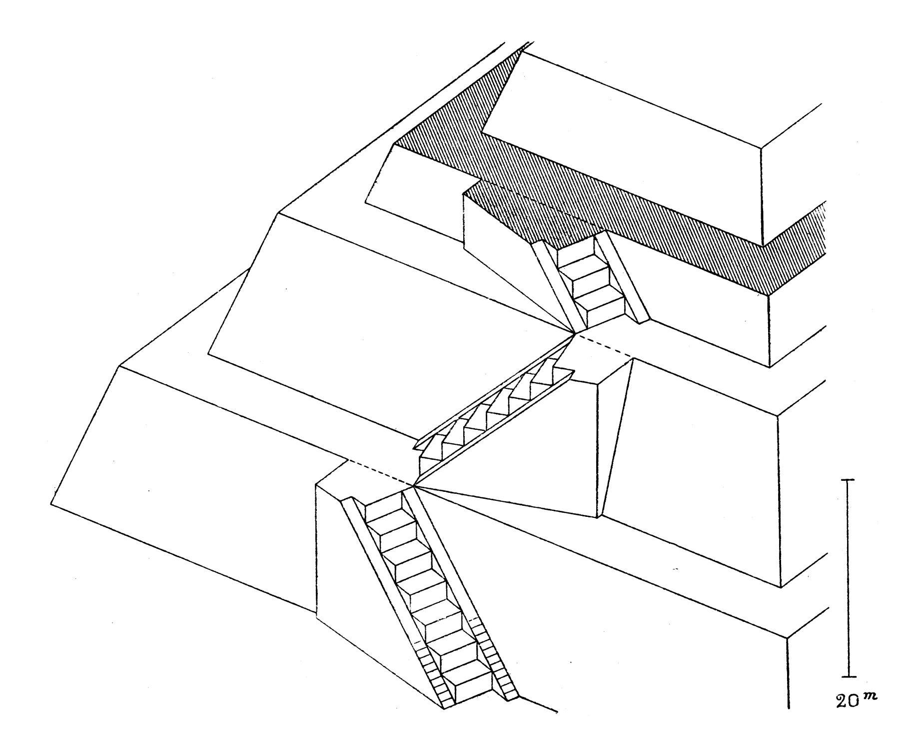


Figura 87
Escalinata de rampas paralelas en la pirámide de Medum

baba una envoltura, el Faraón, temiendo que fuera la última, hacía retundir los paramentos.

La perspectiva de la figura 88 B permite seguir la marcha del trabajo. En un cierto momento la pirámide presenta el aspecto N, con la cara *f* al descubierto, que se labra definitivamente. Pero, como la parte inferior φ, quedaba oculta a la vista, oculta por el saliente *s*, toda la parte baja φ se dejó sin labrar. Más tarde, después de la adición de una nueva capa de revestimiento, la pirámide toma el aspecto N´, es decir, la cara *f* fue regruesada y la capa de prolongación *f´* se convirtió a su vez en parte del paramento exterior. Se realiza de nuevo la labra definitiva y se remata la cara *f´* dejando sin repasar la franja φ´, que el saliente *s´* ocultaba a la vista. Estas franjas sin labrar φ, φ´ se distinguen en las fotografías de la lám. XXIII e indican de forma inequívoca los niveles de retranqueo de las rebanadas desaparecidas.

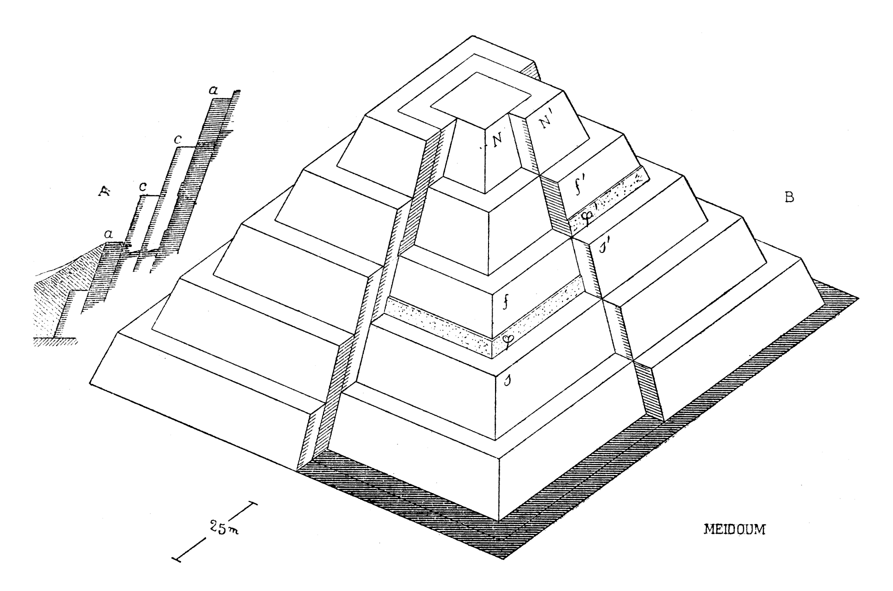


Figura 88
Fases constructivas de la pirámide de Medum

Resumen y comparaciones

Ventajas e inconvenientes del sistema

Pirámides como las de Medum o la de Gizé se elevan en proporción al tiempo y los recursos disponibles. Ahí reside, desde el punto de vista de los Faraones, la ventaja del sistema, ya que un monumento que crece por capas superpuestas puede interrumpirse. Si el rey falleciera durante la ejecución de una capa, sólo deja a su sucesor la tarea de concluirla y retundir los paramentos.

Sin embargo, desde el punto de vista del trabajo a realizar, la solución no tiene ninguna ventaja. Si se hubiera realizado en una sola etapa, habría bastado con una única instalación de gradas de montaje para ejecutar toda la obra. En cambio, en el sistema por rebanadas, las gradas de montaje deben rehacerse para cada nueva capa. El Faraón consigue a este precio la seguridad de no ser sepultado en una tumba inacabada.

Las pirámides de Egipto. Las torres y los túmulos de Asia

La organización de obras en las pirámides es común a un gran número de construcciones asiáticas, al menos en lo que a sus principios se refiere.

La torre escalonada de Khorsabad es una fábrica de adobe en torno a la cual serpentea una escalera en espiral (fig. 89 K). Como las pirámides de ladrillo, esta torre se prestaba a la construcción sin andamios, ya que la escalera, elevándose al tiempo que los macizos de fábrica, bastaba para todas las necesidades.

Los montículos de tierra de la necrópolis de Sardes (S) resultan de aportes sucesivos en torno a un túmulo central. Los conos embutidos se distinguen todavía hoy de forma muy clara. Evidentemente se levantó un primer cono que servía de núcleo, después un envoltorio cónico, un segundo, etc. Estos conos se recubren entre sí como las rebanadas que componen las pirámides.

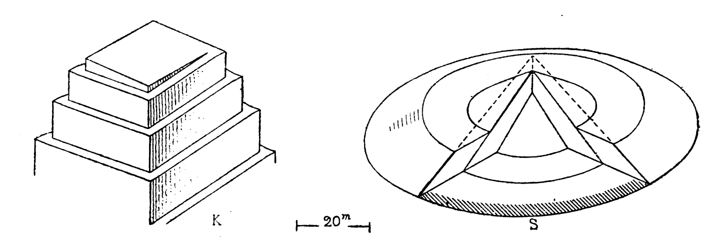


Figura 89
Torre escalonada de Khorsabad (K) y montículos de tierra de la necrópolis de Sardes (S)

Hipogeos

En lo que se refiere a monumentos excavados en la roca, nos limitaremos a hacer algunas observaciones.

SECCIÓN: El techo de una galería es la única zona que puede ceder y sólo hay riesgo de que esto suceda si la unión entre los estratos de la roca es débil. En ese caso, los Egipcios adoptan un perfil abovedado donde las hiladas naturales se apoyan entre sí por vuelos sucesivos, como las losas en ménsula de Abydos (p. 62, Tumbas en Beni Hasán; Sérapéum).

Modo de ejecución por frentes simultáneos: Una de las galerías de la tumba de Ramsés III que se ha conservado hasta nuestros días permanece inacabada. Presenta cuatro frentes de trabajo escalonados en cuatro niveles sucesivos, que permitían hacer trabajar al mismo tiempo a otros tantos equipos y acelerar así la construcción.

Modo de extracción de los escombros: Los corredores de acceso a los subterráneos de las Pirámides son normalmente tan bajos que apenas se puede estar de pie y las pendientes, tan fuertes, que uno se desliza. La extracción de los rellenos se hacía pues, necesariamente, con cestos de arrastre y cables remolcados por hombres situados a la entrada del corredor. Pudiendo fraccionar la carga, no era en absoluto necesario recurrir a tornos manuales. Con los braceros era suficiente.

Ventilación: La construcción de hipogeos, como las tumbas de los Reyes, los subterráneos de las Pirámides o los templos de Ipsamboul, requería la entrada de aire, es decir, implica la existencia de todo un sistema de ventilación del que ignoramos los detalles.

Los métodos y la organización de la mano de obra

El estudio de la organización de las obras nos ha desvelado métodos que exigen un enorme despliegue de fuerzas, pero las dificultades se allanan bajo el régimen autoritario de los Faraones. Basta con recordar la institución de la prestación personal, los tributos por trabajo, de las poblaciones enteras reclutadas durante las estaciones en que no se trabaja el campo, y de los gremios cuyos servicios requiere el Estado.

A la cabeza de este ejército obrero, encontramos una jerarquía de jefes revestidos de un poder incontestable que les confiere un carácter sagrado. Las funciones del arquitecto son territoriales y puede que hereditarias, lo que permite a cada arquitecto conocer a fondo los recursos de los que dispone y las tradiciones que debe seguir. Los obreros con retribución –sin duda, un pequeño número– reciben ésta cada jornada y, por supuesto, el salario se paga en especie durante el largo periodo en que no existe moneda.

Las piedras son extraídas y los ladrillos, moldeados, por los pueblos de la prestación. Algunos ladrillos llevan sellos, aparentemente, de recuento, que sirven para controlar la producción de cada cuadrilla.

En las épocas faraónicas no existe el trabajo por contratas, es decir, ningún intermediario se interpone entre el Estado y el obrero. Las construcciones de sillería tienen, en efecto, el carácter de obras ejecutadas por la Administración, ya que un empresario no hubiera tolerado una sola negligencia (p. 57), pero el Estado sí se las permitía a sí mismo.

Los primeros ejemplos de trabajos realizados a destajo datan de la época de los Ptolomeos, como lo atestiguan las marcas de cantero que se distinguen en los paramentos desbastados del templo de Edfú.

8
Maniobra de monolitos

Lo que hemos estudiado hasta aquí es, por así decir, la práctica corriente. Conviene examinar cómo se aplica el método al transporte de bloques como los de los obeliscos, cuyo peso sobrepasa las 200 toneladas, o los de los colosos, más pesados todavía.

Colosos

Partamos de la cantera. Parece ser que la piedra sale de allí en un estado de desbaste más o menos grosero. Si los pies de los colosos de Memnón se hubieran esculpido antes del transporte, se habrían partido sobre el trineo.

La idea de transportar los bloques en estado de desbaste concuerda mejor con lo que nos dicen los documentos asirios y también, con la práctica general de la labra in situ (p. 50).

Transporte sobre trineo

Anteriormente hemos reproducido un trineo cuyos cordajes sirven, al mismo tiempo, para amarrar el bloque y como yunta de un cierto número de bueyes (p. 70). Pero para el desplazamiento de grandes bloques, el esfuerzo de las bestias de carga no sería demasiado regular, razón por la cual, lo realizan hombres.

Las cuerdas de tracción deben disponerse en consecuencia, y se debe asegurar mejor el amarre de la piedra. En la figura 90, interpretación de una pintura de El Bersé, puede verse la disposición descrita.

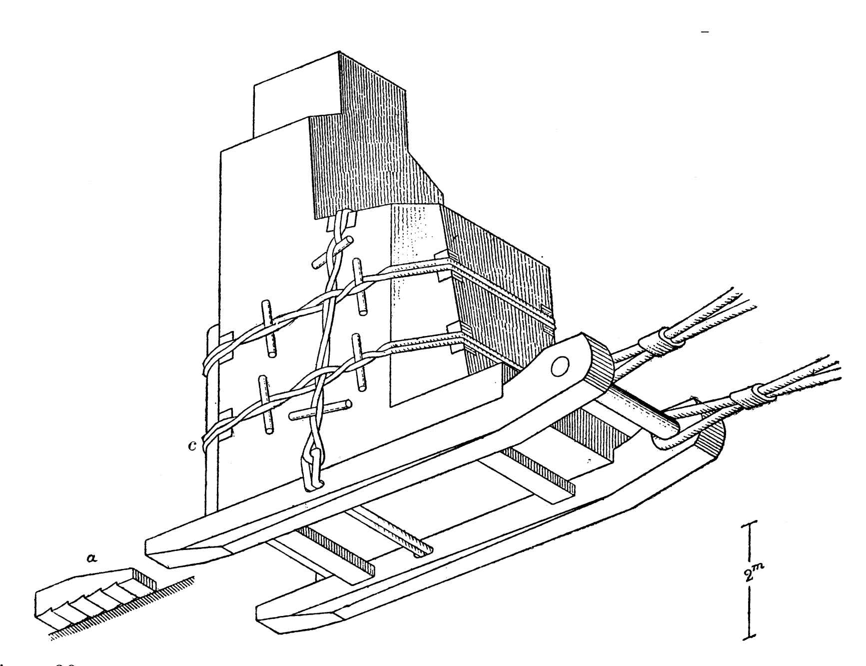


Figura 90
Interpretación del transporte sobre trineo según una pintura de El Bersé.

Trineo de El Bersé: El bloque está amarrado al trineo por cuerdas de sujeción. Un cinturón vertical lo ciñe sobre los patines, y dos cordajes horizontales, combinados sin duda con topes *c* encajados en la parte trasera, hacen imposibles los desplazamientos.

Los cables motores son cuatro. Cada uno de ellos está movido por 21 parejas de braceros, que tiran de forma rítmica a las órdenes de un jefe. El trineo desliza así sobre un terreno previamente humedecido (p. 70), pero al subir una rampa, si el esfuerzo de tracción se interrumpe –y esto ocurrirá en cada parada– el trineo corre el riesgo de retroceder. La inmovilización se obtiene entonces con la

ayuda de unos frenos *a*, en forma de cuña dentada, que se calzan en la parte trasera y se agarran al terreno. Durante la marcha, estos frenos *a* se transportan junto al trineo.

– Caso de imposibilidad de transporte con cuerdas. El procedimiento implica la existencia de suficiente espacio delantero para desplegar las largas filas de braceros. Si falta espacio, o la carga es demasiado pesada para un trineo, queda el recurso de avanzar por escalones, prescindiendo del trineo si es preciso (p. 69).

ASIENTO. INDICIOS DEL EMPLEO DE SACOS DE ARENA: Llegamos al lugar de colocación. La estatua está en *a´* y *m* es el pedestal sobre el cual hay que elevarla (fig. 91). Se desarma el trineo si existe y con la ayuda de palancas y terraplenes se alza el bloque desde *a´* hasta *a˝* (p. 69). Después se le deja deslizar hasta *a‴*. Sólo queda entonces hacerlo descender hasta su pedestal.

El descenso se realizará por medio de un artificio que nosotros aplicamos al descimbrado de nuestros puentes y que también era conocido por los antiguos (Plin. XXXVI, 21), el empleo de sacos de tela rellenos de arena.

Imaginemos en *s* una pila de estos sacos. Ésta ofrece al bloque un apoyo que permite retirar los terraplenes. Si a continuación se derrama la arena, la bajada se producirá sin brusquedad. La única dificultad consiste en retirar las telas, es decir, en impedir que queden atrapadas bajo la estatua.

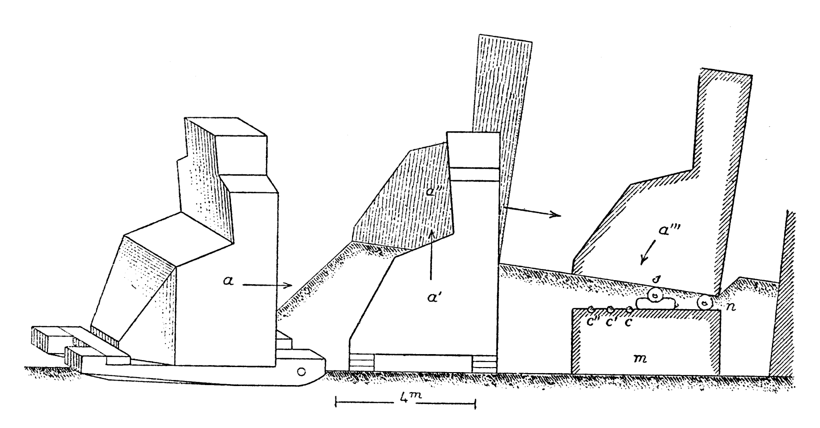


Figura 91
Operaciones sobre sacos de arena para la colocación de una estatua

– Colosos de Luxor. Ahora bien, esto es lo que se observa en los colosos de la gran corte de Luxor (fig. 91 *m*; fig. 92 L; fotografía lám. XVII, 1). En el pedestal hay excavadas tres ranuras *c*, *c´*, *c˝*, donde pueden alojarse sacos más pequeños, largos tubos de arena. Cuando se vacían los grandes sacos *s*, el bloque apoya sobre el lecho de espera en *n* y sobre el primero de los sacos pequeños, en *c*. En este momento nada impide retirar las telas. Retiradas éstas, se revienta el saco *c*. El bloque gira lentamente en torno a la arista *n* y se apoya sobre el segundo saco *c´*. Tanto el saco *c*, como la arena que contenía, permanecen en su ranura. Reventando sucesivamente *c´* y *c´´* termina la maniobra y el bloque reposa a hueso sobre su lecho.

– Pedestal en el segundo patio de Karnak. En Karnak (fig. 92 T; lám. XVII, 2), la base de un coloso presenta, en lugar de ranuras, dos huecos excavados excéntricamente como las ranuras *c*, *c´*, *c˝* de Luxor. La maniobra no se diferencia en nada a la anterior. En los huecos se introducen pequeños sacos esféricos, equivalentes a los sacos alargados introducidos en las ranuras de Luxor. El coloso apoya primero sobre los grandes sacos y después, en los pequeños. En ese instante se retiran las telas de los grandes y se rompen los sacos pequeños, que permanecen, continente y contenido, dentro de los huecos T.

– Los colosos del Ramesseum y Memnón. La principal estatua del Ramesseum y, probablemente también, los colosos de Memnón, apoyaban sobre bases completamente lisas. ¿Quiere esto decir que no se aplicó aquí el artificio descrito? Hemos señalado la posibilidad de que los bloques fueran colocados en un estado de simple desbaste (p. 106). Pero era muy fácil labrar, en el bloque a asentar, entalladuras *v* donde alojar los pequeños sacos de arena (fig. 92). Estos saquitos habrían servido de apoyo durante la retirada de los grandes sacos y la maniobra se habría realizado, como en Luxor o Karnak, sin dejar restos entre el zócalo y la estatua.

Obeliscos

Los obeliscos, en general, sólo tienen dos superficies planas. Las otras dos están ligeramente abombadas y las aristas son curvas. La figura 93, donde la escala de ordenadas es cinco veces la de abscisas, da una idea de su aspecto.

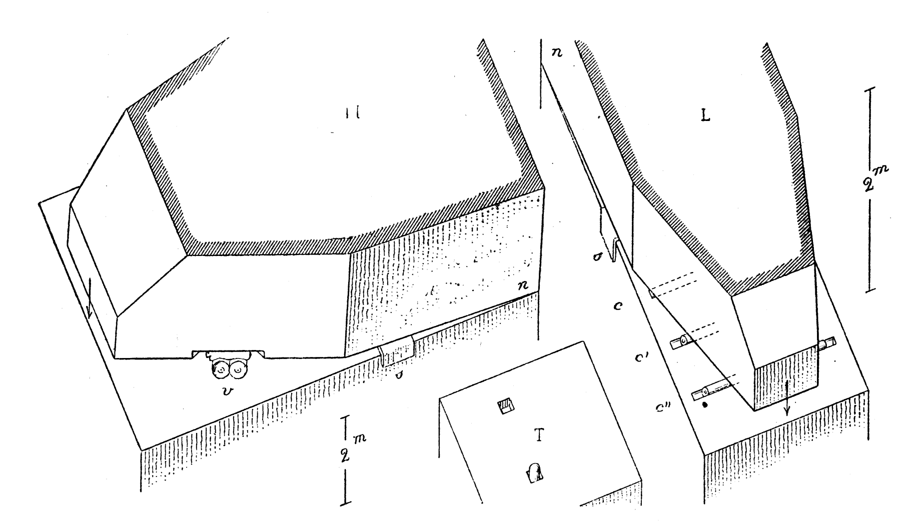


Figura 92
Distintas soluciones para el asiento de los colosos basadas en el empleo de pequeños sacos de arena

Extracción

Supongamos que en la cantera se tallan las aristas con la guía de hilos metálicos tensados. Se obtendrán así, dos superficies laterales planas. Pero, como el hilo sufrirá una cierta flexión, las otras dos caras tomarán una ligera curvatura, cuyo signo se muestra en el croquis.

Imaginemos ahora, en una misma cantera, dos obeliscos labrados con la ayuda de hilos directores. Las flexiones serán paralelas y, como las maniobras del

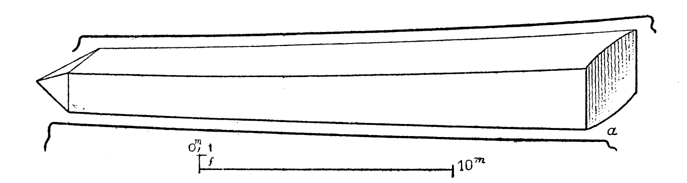


Figura 93
Curvatura de las superficies de los obeliscos

transporte serán las mismas, después de su erección las curvas deberán quedar en una posición semejante.

La presencia de las curvaturas, la coincidencia en su posición, todas las consecuencias del método de trazado se verifican en los dos obeliscos de Luxor. La flecha de las curvaturas es aproximadamente de 0,03 m. Si se hubiera utilizado un hilo de cobre, la tensión no hubiera sobrepasado los 3 kg por milímetro cuadrado (30 N/mm^2), un esfuerzo perfectamente admisible. En cuanto a los abombamientos tranversales *a*, pueden haber sido dispuestos para aumentar, aunque muy poco, el espesor en la zona central y, por tanto, la resistencia a la rotura.

Transporte

Las abundantes pinturas sobre escenas de la vida cotidiana no contienen más que vagas alusiones al transporte de los obeliscos. Este transporte se realizaba, necesariamente, no sólo por tierra, sino también por agua, ya que la excavación de un canal permitía llegar prácticamente hasta pie de obra.

TRASNPORTE FLUVIAL: Una pintura de Deir el-Bahari muestra varios obeliscos navegando a bordo de barcos, pero Plinio (XXXVI, 14) indica una solución mejor; dos naves entre las cuales se suspende el bloque, seguramente sumergido por debajo del nivel del agua, cuyo peso se reduce en más de un tercio por inmersión.

TRANSPORTE TERRESTRE: Para el desplazamiento por tierra podía emplearse el sistema de rampas escalonadas ya descrito (p. 69) y al que hace referencia el esquema de la figura 94. Probablemente, en la mayor parte de los casos, bastó con el sistema de tracción por cables empleado para el transporte de colosos y obeliscos.

Erección

FASES DE LA OPERACIÓN: Como en el caso del transporte, la erección tampoco exige una maquinaria especial. En primer lugar, se eleva el bloque, teniendo cuidado de mantener con muros de contención los rellenos de apoyo (fig. 95 A). Llegados (B) a una cierta altura *a´*, se pasan, por debajo, dos travesaños *c* y un eje *n*. En

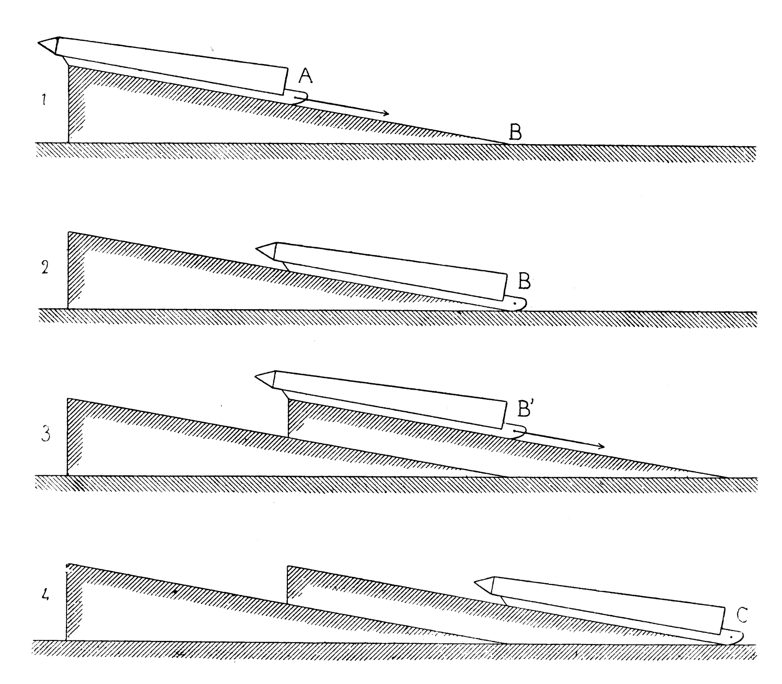


Figura 94

Transporte de los obeliscos por rampas escalonadas

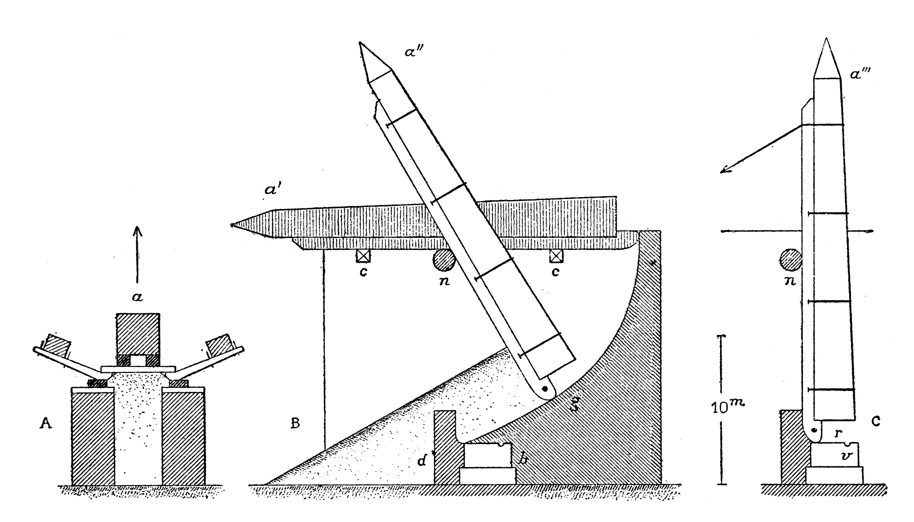


Figura 95

Fases de la erección de un obelisco egipcio

este momento nada impide retirar las tierras y disponer una rampa cilíndrica *g* por la parte inferior.

Construida ésta, se reemplaza la tierra por arena, se retiran los travesaños *c* y se vacía la arena. El obelisco, girando en torno al eje *n*, se inclinará hasta la posición *a″* y quedará aplomado sobre la base *b*. Para impedir que se desplace demasiado, bastará con disponer en *d* un tope que lo frene en la base y sujetar el remate por medio de tirantes.

El bloque se encuentra ahora en la posición C. El trineo lo ha seguido y protegido en su movimiento, pero ahora el extremo curvo de este trineo obstaculiza el descenso. Para cortarlo, apilamos sacos de arena en la base (fig. 96 *c*). Una vez apoyado el bloque sobre estos sacos, bastará con un golpe de sierra para suprimir el obstáculo (*c′*) y, vaciando los sacos, el obelisco quedará en su sitio.

Sin embargo, aparece de nuevo un inconveniente con el que nos hemos enfrentado al hablar de los colosos y es que hay que impedir que la tela de los sacos quede aprisionada entre el zócalo y el fuste. La solución es la misma. Los pequeños sacos *v* alojados en la ranura reciben provisionalmente la carga y después, una vez abiertos, permanecen en el mismo lugar, tanto el contenido como su envoltorio. Vamos a explicarlo con ejemplos.

Indicios y detalles de la maniobra sobre sacos de arena: En Karnak, bajo el obelisco caído de Hatasou, la forma de la ranura es como la indicada en la figura 96.

En Luxor, de acuerdo con los levantamientos de Lebas, las ranuras presentan el aspecto de la figura 97. Bajo el obelisco oriental, la ranura *a′* es exactamente igual a la de Karnak, pero bajo el obelisco occidental P (el de la plaza de la Concordia) la disposición es más compleja. Este obelisco, el menos alejado del Nilo, debió de erigirse en último lugar y en él se aprovechó la experiencia adquirida. Probablemente ya se había observado que los pequeños sacos *a′* se vacían con una peligrosa rapidez. Para evitar este peligro se aproxima al centro la ranura *a*, que además se ramifica en cinco ranuras secundarias *c*. Los pequeños sacos alargados de arena, alojados en todas estas cavidades, se reventaban después al mismo tiempo, y el obelisco, girando en torno a la arista *n*, provocaba,

no una evacuación general, sino por etapas, comenzando en *a* y propagándose de *a* hasta *c*. De este modo, el movimiento se operaba con mayor lentitud y se corrían menos riesgos.

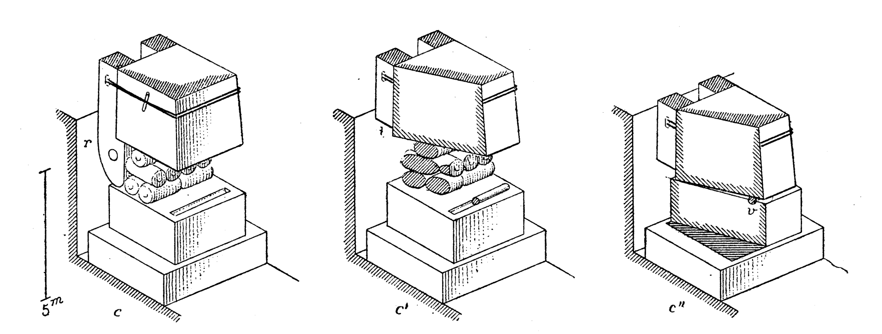


Figura 96
Detalle de la maniobra para la colocación del obelisco sobre su base

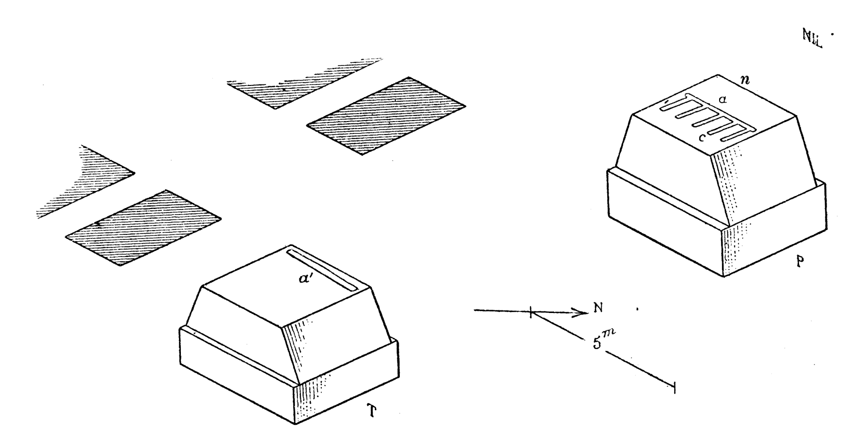


Figura 97
Detalle de las ranuras en la base de los obeliscos de Luxor, según Lebas

Diversas soluciones al problema de los obeliscos : Así se erigieron los obeliscos en aquellas épocas remotas en que no se disponía ni de tornos ni de palancas, pero en época romana se utiliza un método completamente distinto.

El museo de Letrán posee una representación de la erección, no de un obelisco, sino del fuste de una columna monolítica. En ella la elevación se realiza con una grúa y el motor es un torno accionado, como los de nuestras canteras, por hombres que en su interior se desplazan sobre escalones fijados al cilindro exterior.

Así fue erigido el obelisco de Constancio II (Ammien XVI, 4), y en el bajorrelieve del obelisco de Constantinopla también aparece este sistema de elevación con ruedas motrices.

En épocas más modernas, el método romano persiste, al menos en cuanto al principio. Así, el obelisco de la plaza de San Pedro fue erigido con la ayuda de una estructura vertical de madera que servía de sujeción a los polipastos. Mientras se levantaba el remate, la base avanzaba sobre una plataforma con ruedas.

En el caso del obelisco de la plaza de la Concordia, se empleó un caballete oscilante, casi vertical desde el principio, cuyo movimiento basculante tiraba del extremo del monolito.

Sarcófagos

Los procedimientos empleados para colocar los sarcófagos son simples variantes de las maniobras con arena que acabamos de describir.

Mariette encontró en sus excavaciones la cuba de un sarcófago, en posición de espera, al borde del pozo que debía contenerla. El pozo presentaba, en cuatro puntos, ensanchamientos en forma de ranuras verticales. Ranuras y pozo, todo estaba lleno de arena. Entonces, un hombre colocado en cada ranura vació la arena a medida que ésta fluía. De este modo se concluyó la maniobra prevista treinta siglos atrás.

También las excavaciones de Sakara han sacado a la luz una tumba nunca ocupada. La cuba estaba ya colocada y, por encima de ella, a 1 metro aproximadamente, descansaba la tapa sobre pequeñas pilas provisionales. Todo estaba preparado para hacerla descender. Al construir los muros de la cámara, se tuvo el cuidado de disponer una especie de canalización de arena (fig. 98), compuesta por ranuras verticales *a*, *n* y una ramificación horizontal *m*. Por otro lado, los topes *c*, acuñados bajo los salientes *s* de la tapa, se apoyaban sobre la arena de los

canales de desagüe *n*. El Sr. Barsanti, a quien se debe la explicación de estos dispositivos, interpreta así la maniobra proyectada: al retirar las piletas provisionales, los topes *c* transmitirán a la arena todo el peso de la tapa; después, al vaciar la ranura *a*, la arena de los canales *n* saldrá, los topes descenderán y la tapa con ellos.

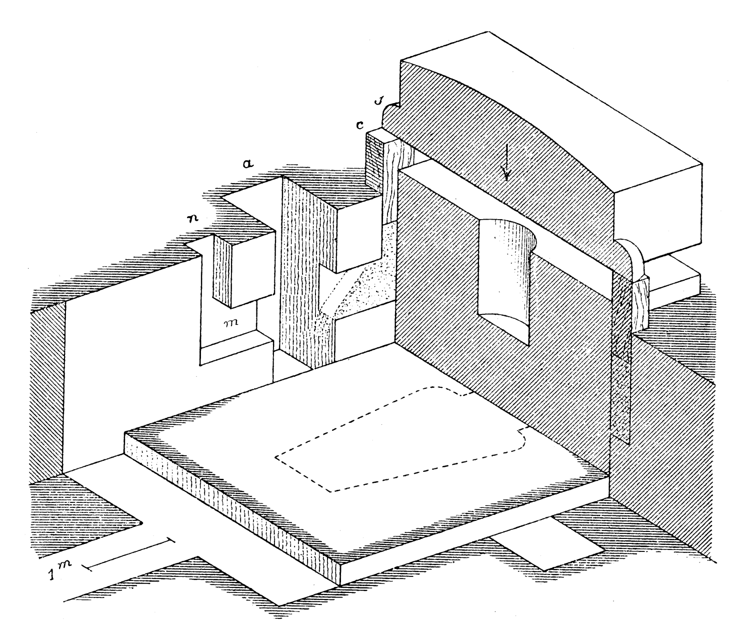


Figura 98
Sistema previsto para la colocación de la tapa de un sarcófago en Sakara

Compuertas de las pirámides

La figura 99 indica la forma habitual de las cámaras donde se alojan las losas de granito que interrumpen a intervalos los pasadizos de las pirámides.

Maniobra por descenso vertical

Mientras la pirámide está desocupada, la compuerta se apoya sobre dos pies derechos *a*. Para hacerla descender, se suprimen estos soportes, pero la piedra puede romperse si se inclina, o bien atascarse entre las dos ranuras y detenerse en pleno descenso. La manera de prevenir este doble riesgo es apilar bajo la com-

puerta, antes de la retirada de los rollizos, un montón de sacos de arena que aseguren un descenso lento y regular.

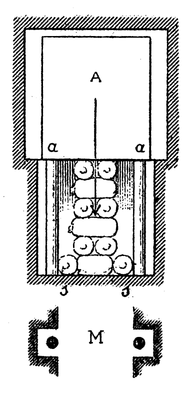


Figura 99
Detalle en sección de la cámara de una compuerta

Descenso por rampa

En Dahshur se contentaron con moderar la velocidad de caída haciendo descender el bloque sobre un plano inclinado. La cámara de la compuerta, descubierta

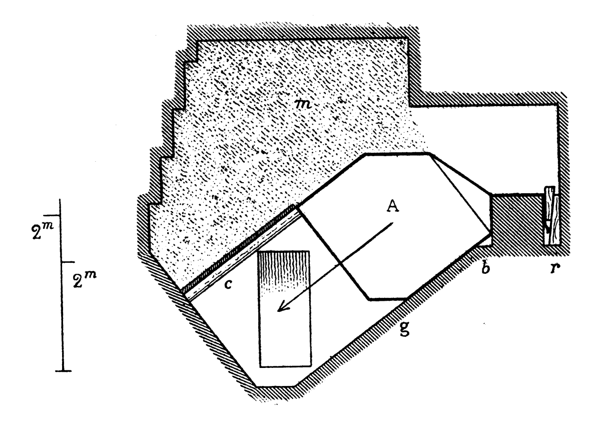


Figura 100
Detalle en sección de la cámara de una compuerta en Dahshur

por Perring, presenta el aspecto de la figura 100, donde *g* es la rampa sobre la cual se hizo deslizar el bloque rompiendo los puntales *c*. Esta última operación, sin embargo, hubiera sido peligrosa sin la garantía de cuerdas de retención. De hecho, existe una ranura *r* donde el cordaje puede anclarse con la ayuda de simples cuñas. Imagínense las cuerdas así ancladas en la ranura *r*. La supresión de los puntales podía realizarse entonces sin riesgos, bastando, para romper el madero de retención, con quemarlo.

Los arquitrabes de los templos

Los sistemas de puesta en obra aplicados a los monolitos permiten completar las indicaciones dadas sobre la colocación de los materiales de los templos y, en particular, de los arquitrabes.

Los arquitrabes de la nave principal de Karnak consisten en dos vigas gemelas, cada una de las cuales pesa más de 40 toneladas. Hemos visto (p. 86) que en el momento de su colocación, todos los vacíos de la sala se rellenaban con tierra, ya que su peso no permitía para la elevación otro procedimiento que el de las palancas (p. 71). Llegados a la altura prevista, avanzaban sobre rodillos hasta el lugar de su emplazamiento y entonces había que colocarlos en su sitio. Para el primer arquitrabe *a‴*, no hay ningún problema, pero el otro *a″* debe encajarse, no sólo en los extremos, sino también lateralmente. Ahora bien (fig. 101 T; lám. XVIII, 2) se observan dos huecos *s* en uno de los extremos del lecho de apoyo, que denotan: 1º El empleo de sacos de arena; 2º La extracción de las telas mediante el artificio de los saquitos cilíndricos de arena (p. 108).

Partiendo de estas indicaciones, he aquí cómo podría realizarse la maniobra. Una vez llegado el bloque hasta *a′*, se acomoda sobre un apilamiento de sacos grandes. Vaciando con método los sacos inferiores del apilamiento, se le acerca poco a poco a las piedras donde ha de encajarse, siendo el único peligro el de dejar que tome una inclinación que le haga acuñarse en *c* y romper su arista, pero los saquitos previenen este accidente (fig. 102 A). Colocados en el extremo *s′*, obligan al bloque a girar en torno al otro extremo *s″*. Cualquier bloqueo en *c* se hace así imposible.

Después, se logra el ajuste mediante pequeños movimientos de palanca, que la presencia de los saquitos *s´* hace inofensivos, se rompen los saquitos y el bloque ocupa definitivamente su lugar.

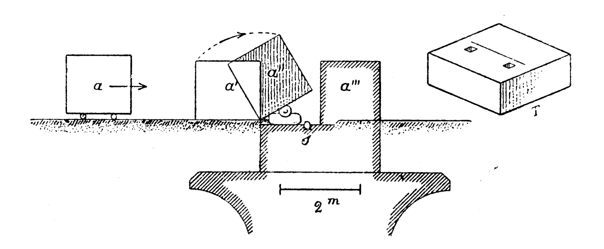


Figura 101
Fases de colocación de los arquitrabes de los templos

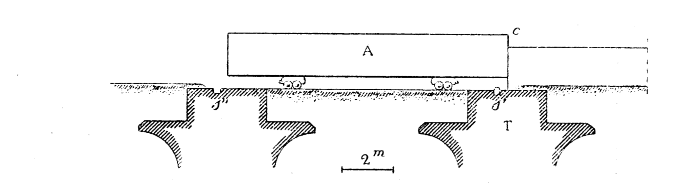


Figura 102
Ajuste definitivo de los arquitrabes mediante pequeños sacos de arena

Maniobras de fuerza fuera de Egipto

Al finalizar este estudio, no estará fuera de lugar comparar los procedimientos egipcios con los que sugieren esas mismas necesidades o influencias en otros lugares.

Pueblos prehistóricos

Los pueblos prehistóricos usaron probablemente métodos que no requerían el empleo ni de máquinas ni de cuerdas.

Por la fecha en que se realizaron, los megalitos, los obeliscos de Bretaña y los del país de Gales son mucho más recientes que los de Egipto, pero pertenecen a

una etapa más primitiva. Se cree que un modo posible de transporte pudo ser el basado en su elevación y deslizamiento (p. 69) y, para la erección, la creación de excavaciones como la de la figura 103.

Son los mismos procedimientos que los de los Egipcios. Las diferencias estriban en el estado atrasado de las herramientas, que obligaba a dejar los bloques en estado bruto. El obelisco egipcio no es otra cosa que un menhir tallado y el templo, un dolmen ampliado.

Con todo, los pueblos desprovistos de medios para fragmentar las piedras tienen, por lo menos, palancas para moverlas. El megalitismo es, pues, el arte obligado de las civilizaciones nacientes.

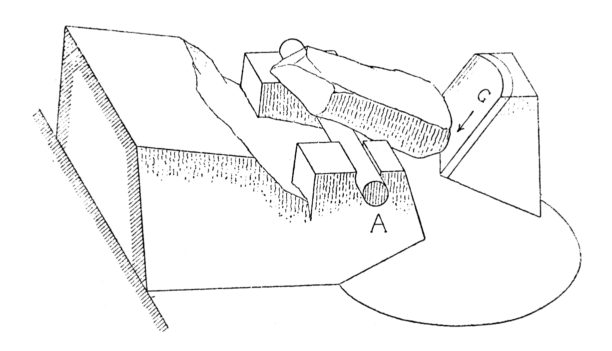


Figura 103
Excavación para la erección de megalitos

Fenicia

Los Fenicios de Balbek emplearon en los recintos de sus santuarios las piedras más grandes que el hombre haya movido jamás y el modo de transporte parece ser aquí, de nuevo, el deslizamiento por rampas. Ningún trineo hubiera resistido cargas de miles de toneladas.

Por tanto, los bloques de Balbek deslizaban directamente sobre la calzada, y así lo atestiguan las desportilladuras producidas durante el transporte. Como se muestra en la figura 102, todas las desportilladuras *c* se presentan sobre la cara del paramento y siempre, en la arista superior. Es, entonces, la cara vertical, la

que arrastraba por el suelo, mientras que la arista del remate iba por delante. A la llegada, se desbastaba la piedra.

Además, en las caras de los lechos existen agujeros de 0,25 m aproximadamente de ancho, tanto redondos como cuadrados, que parecen excavados en zonas blandas o fisuras naturales. Estas oquedades serían equivalentes a las del pedestal de Karnak (p. 109) y como aquéllas, destinadas a contener pequeños sacos de arena.

Según estas indicaciones, se puede reconstituir la maniobra de la siguiente manera. Estando el perfil de la muralla en proceso de ejecución, se hace deslizar la piedra hasta *a´* de rampa en rampa (p. 69). Después se dispone en S un montón de sacos grandes y, en las oquedades *s*, sacos de menor volumen, todo ello recubierto por un montón de arena. Hecho esto, se desbasta el bloque, que se abate sobre el montón de arena. Se derrama la arena y el bloque apoya entonces sobre los grandes sacos. Vaciando éstos metódicamente, el bloque se aproxima poco a poco hasta las juntas, y pronto no apoya más que sobre los pequeños sacos alojados en las oquedades del plano del lecho. Sólo queda pues, romper estos pequeños sacos *s*.

De este modo, el método egipcio explica las particularidades de Balbek punto por punto.

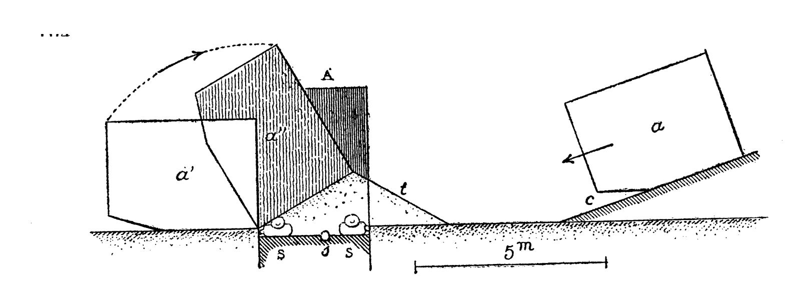


Figura 104
Colocación de los bloques de piedra en Balbek

Asiria

Un bajorrelieve del siglo VII nos permite asistir a las operaciones de transporte de uno de los toros alados que servían de jambas en las puertas de los palacios.

El coloso se encuentra en estado de desbaste y apoya sobre los patines de un trineo (fig. 105), que, en esencia, no se diferencia en nada del de El Bersé (p. 106). Como allí, la tracción se ejerce mediante brazos humanos y los únicos hechos a destacar son los siguientes: combinaciones de cables que no requieren ningún nudo, empleo de palancas para iniciar la marcha, largueros dobles de madera dura e interposición de rodillos entre el trineo y el terreno, menos deslizante en Asiria que en el valle del Nilo.

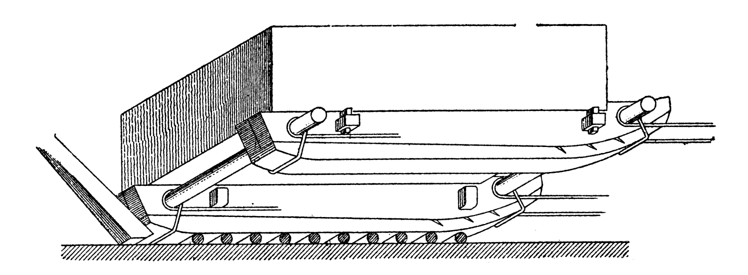


Figura 105
Transporte de bloques de piedra sobre trineo en Asiria

Grecia arcaica: transporte y elevación

Vitruvio y Plinio nos han transmitido detalles, en relación con el templo de Éfeso, que permiten comprender la transición de los métodos egipcios a los griegos (Vitr. X, 6; Plin. XXXVI, 21).

TRANSPORTE: Para llegar a la obra, las piedras debían atravesar zonas inundadas. El arquitecto, «no atreviéndose a contar con narrias cuyas ruedas se hundirían» (Vitr.), repartió la carga sobre el terreno haciendo avanzar los fustes de las columnas por simple rodamiento. Y, para poder aplicar el mismo método de transporte a los bloques rectangulares de los arquitrabes, los transformó en cilindros por medio de un armazón exterior de madera. Ahora bien, Vitruvio, o mejor dicho, el arquitecto griego del que es intérprete, presenta esta solución como excepcional, reconociendo así de forma accidental el empleo general de vehículos

con ruedas. Por otro lado, el texto no contiene ninguna alusión a la idea de consolidar el terreno fangoso. Los griegos parecen haber dudado mucho tiempo en construir calzadas.

MONTAJE: En cuanto a la elevación se utiliza un plano inclinado (*mollis clivus*), y para colocar en su sitio los arquitrabes «se dispone un apilamiento de sacos llenos de arena por encima de este plano inclinado, sobre los capiteles de las columnas. Después, vaciando poco a poco los sacos inferiores, se consigue de forma progresiva el asiento de los bloques» (Plin.).

El templo de Éfeso fue erigido hacia el año 550 a. C. En esta época, Egipto mantenía relaciones con los griegos, a los que pudo suministrar la idea de maniobrar sobre arena. No obstante, resulta extraño encontrar, en pleno siglo VI a. C., el plano inclinado, por tantos conceptos inferior al sistema escalonado por gradas (p. 79). Parece más bien que, al sustituir la escalera de elevación por una rampa, los griegos habrían tenido en cuenta la posibilidad de usar la tracción producida por máquinas. Se habría instalado así un cabrestante en la parte alta de la rampa, es decir, interviene el torno de mano. Aquí parece estar la innovación y se puede imaginar entonces la obra de Éfeso según la representación aproximada de la figura 106.

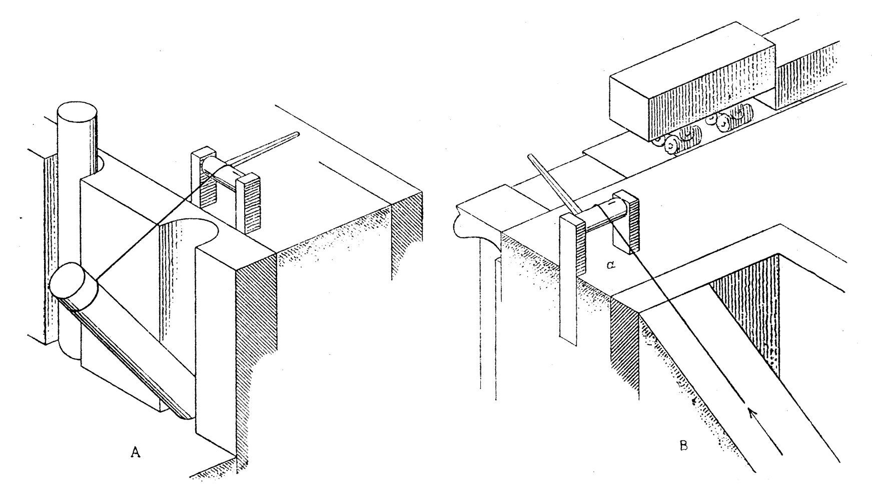


Figura 106
Sistemas de elevación de los bloques de piedra en Grecia

No obstante, estamos todavía en la época del transporte por trineo. Pronto, sin embargo, los griegos van a inaugurar métodos que no exigen ningún terraplén. Procederán elevando los bloques en el espacio; las cabrias y los polipastos se convertirán en las máquinas habituales.

Desde finales de siglo la transformación ya es completa. La elevación por suspensión está escrita en las piedras de Grecia y Sicilia y la nueva mecánica reina sin reservas: Éfeso es todavía una construcción semiegipcia, pero en Sélinonte nada queda ya de los métodos egipcios.

***

El sistema griego, esa elegante adaptación de máquinas prestadas del arte naval, se adecua a las ciudades marítimas, a los pequeños estados con un limitado número de trabajadores, que deben ingeniárselas para suplir la escasez de brazos.

Egipto, en cambio, donde la autoridad está centralizada, puede cumplir más fácilmente su objetivo. Incluso bajo la dinastía macedonia de los Ptolomeos, la vemos ligada a sus métodos tradicionales. Los conserva bajo los Césares y no renuncia a ellos hasta que deja de erigir templos.

Glosario

acanaladura. Estría o canal. *Ver* **estrías**.
achaflanar. Dar forma de chaflán a una esquina. *Ver* **chaflán**.
acodada. En forma de codo.
acodalar. Poner codales para reforzar la construcción, de forma que se aseguren dos cuerpos sosteniéndose recíprocamente.
acueducto. Construcción para transportar agua, particularmente para el abastecimiento de una población; puede ser exterior (a veces en forma de puente) o subterránea.
adintelada. Forma de construcción de fábrica que se basa en el empleo del dintel y la columna. Visualmente muy diferente de la construcción arqueada, su funcionamiento estructural es similar, formándose arcos de descarga dentro de los dinteles que funcionan como arcos adintelados.
adobe. Ladrillo crudo secado al sol, construido con tierra arcillosa bien batida a la que a veces se mezcla paja o heno cortado para que tenga más cohesión.
adovelado. Construcción o arco compuesta por dovelas.
agrietamiento. Forma y disposición de las grietas en una zona de una fábrica.
andamiaje. Estructura provisional utilizada en la construcción de una fábrica.
aparejo. La disposición y enlace de las partes de una construcción. Tratándose de obras de cantería o sillería, se usa también este término como sinónimo de despiece.
aplastamiento. Fallo del material por compresión.
apoyo. Elemento de sustentación.
apoyo en falso. El modo como está asentado sobre otro un cuerpo que tiene alguna parte en voladizo o que no está a plomo con su base.
apuntado. *Ver* **arco apuntado.**
apuntalar. Sostener con puntales, generalmente de forma provisional.

arco. Elemento estructural curvo que transmite las cargas fundamentalmente mediante esfuerzos de compresión. La forma de transmisión de las cargas viene dada por la posición de su línea de empujes.

— **apuntado.** El formado por dos arcos de círculo de igual radio y menores que un cuarto de circunferencia.

— **carpanel.** El formado por varios arcos de circunferencia, en número impar. El más frecuente es el de tres centros.

— **de descarga.** El que se sitúa sobre un vano o porción de fábrica para aliviarlos del peso del muro superior. Muchas veces no se acusan con molduras sino que van embebidos en la fábrica, al ras de los paramentos..

— **escarzano.** El formado por un segmento circular, menor que la semicircunferencia, teniendo, por lo tanto, su centro por debajo de la línea de los arranques.

— **de medio punto.** Aquel cuyo intradós es una semicircunferencia completa, por lo que su altura o flecha es igual a la mitad del vano.

— **peraltado.** El prolongado en sus extremos por dos porciones rectas. || Aquel cuya altura es mayor que su semiluz.

— **rebajado.** Aquel cuya altura o flecha es menor que la semiluz.

arenisca. Roca formada por granos de cuarzo del tamaño de la arena y unidos por un cemento silíceo, arcilloso, caliza o ferroso.

árgana. Grúa utilizada para subir piedras o grandes pesos.

armadura. Conjunto de piezas de madera que forman una estructura destinada a recibir el tejado con el que se cubre el edificio.

arquitrabe. Viga de piedra con forma paralepipédica que apoya entre columnas o pilares.

arranque. La porción de un arco o bóveda que insiste sobre el apoyo, y en la que se inicia la curvatura de dichos elementos. *Ver también* **enjarje**.

arriostrar. Poner riostras u otros elementos para hacer indeformable una armadura, garantizando así su estabilidad global.

azuela. Instrumento de hierro con filo horizontal y mango de madera, que se usa en carpintería para desbastar la madera.

bancada. En una mina o cantera, escalón o estrato diferenciado.

basamento. Parte inferior de una edificación. *Ver también* **zócalo**.

bisel. Corte oblicuo en el borde o extremo de alguna cosa.

bóveda. Obra de fábrica arqueada que cubre un espacio comprendido entre muros o pilares. *Ver también* **cúpula.**

— **de cañón.** Aquella cuyo intradós es cilíndrico. La sección transversal puede ser un semicírculo o un arco apuntado. Si la superficie es continua, se dice de cañón seguido; pero es muy frecuente que presente resaltos en forma de arcos fajones que la dividen en tramos. *Ver también* **arco**.

cabrestante. Máquina para ejercer esfuerzos en sentido horizontal. Es un torno con su cilindro puesto verticalmente.

cabria. Aparato compuesto de dos vigas, llamadas cabrillas, formando ángulo, o tres en forma de pabellón que sostienen una polea destinada a levantar a poca altura moles muy pesadas, mediante el esfuerzo de un torno horizontal en que se arrolla la maroma y cuyo torno va montado por lo regular entre las dos vigas que forman la cabria.

cadena. Machón de sillería, en general de mayor y menor, que se echa a trechos en un muro de fábrica para fortificarlo; su uso es frecuente en las esquinas. En general, conjunto de elementos unidos entre sí que atan o fortifican una fábrica.

caja. Hueco o espacio donde se introduce algún objeto. || En un ensamble, hendidura realizada en un madero para encajar la espiga de otro.

caja y espiga. *Ver* **ensamble a caja y espiga.**

cal. Producto obtenido por la calcinación de piedras calizas. Se llama cal grasa a la que proviene de la cocción de calizas que contienen menos de un décimo de materias extrañas.

calado. Motivo ornamental arquitectónico a modo de encaje. || Perforado, abierto por ventanas o huecos.

caliza. Roca de carbonato cálcico y otras substancias.

calzada. Largo corredor, bordeado de muros, que, en el complejo arquitectónico de las pirámides, une el santuario del valle con el templo funerario situado en la cara oriental de la pirámide propiamente dicha.

calzo. Cuña o tarugo de madera o hierro con que se afianza, ajusta o coloca en posición una pieza cualquiera.

camón. Par arqueado en una armadura curva. Tabla con uno de sus lados recortado en curva.

cantera. Explotación de donde se extrae la piedra.

cantería. Arte de labrar la piedra. || Construcción hecha de piedra labrada.

cantero. En general, el que labra la piedra.

cañón. *Ver* **bóveda de cañón.**

capitel. Parte superior de una columna o pilastra. Lleva molduras y elementos decorativos, lo que establece las diferencias entre los órdenes.

carga. Peso, fuerza o sistema de fuerzas que debe resistir una estructura.

carpintería. Arte de construir con madera. || Conjunto de las cosas de madera de una construcción o edificio.

carpintería de armar. La que hace armaduras, entramados y demás armazones de madera para los edificios.

carpintería de taller. La que hace ventanas, puertas, armarios, paneles y otros elementos del edificio, de función no estructural.

carrera. Madero horizontal colocado directamente sobre las zapatas de los pies derechos, sobre el que se apoyan otros.

cascote. Fragmento de alguna fábrica derribada o arruinada que sirve luego o se utiliza en obras nuevas.

castañuela. Pieza de hierro utilizada para elevar sillares con una grúa, con garfios que se ajustan en sendas cajas labradas previamente en el sillar.

catenaria. Del latín «catena» (cadena). Curva que forma una cadena o cuerda flexible, suspendida por sus extremos de dos puntos y sometida a su propio peso. Por extensión, forma que toma un hilo flexible sometido a una cierta ley de cargas.
centro de gravedad. Aquel punto de un cuerpo tal que, si lo colgáramos de él, el cuerpo estaría en equilibrio en cualquier posición. Por el centro de gravedad pasa la resultante de los pesos del cuerpo.
cimbra. Armazón de madera arqueada por su parte superior que sirve como de molde para la construcción de arcos y bóvedas, sosteniéndolos mientras se construyen y cierran.
cimentación. Construcción que transmite las cargas de la estructura al terreno.
cincel. Herramienta de acero utilizada para labrar la piedra que consiste en una barra rematada a doble bisel por uno de sus extremos.
cintrel. Cuerda o regla que sujeta por un extremo en el centro de curvatura de un arco o bóveda sirve para definir el intradós y señalar la dirección de las juntas de las piedras o ladrillos.
cisterna. Depósito o aljibe subterráneo utilizado para recoger y almacenar agua.
clave. La dovela central que cierra un arco o bóveda. En una bóveda de cañón las claves están en una fila formando la línea de clave.
clavija. Pieza de madera cilíndrica, cónica o piramidal, que en carpintería se usa para ajustar o fijar un ensamble, introduciéndola en un taladro o caja.
codal. Madero que se pone horizontalmente en una zanja o en el vano de un edificio para sostener las paredes y que no se desplomen.
coloso. Estatua de gran tamaño.
columna. Elemento arquitectónico vertical de sostén. Consta de basa, fuste (generalmente de forma cilíndrica) y capitel.
columnata. Columnas dispuestas en fila.
cordel guía. *Ver* **cintrel.**
cornisa. Parte superior y más saliente del entablamento. || Moldura o conjunto de ellas que rematan un muro, en general para evitar que el agua de lluvia incida o resbale sobre él.
— **en gola.** Cornisa sostenida por una garganta unida, a su vez, a una moldura horizontal de toro que subraya el arranque.
corredera. Carril o ranura por donde se desliza otra pieza, que se adapta a ciertas máquinas o artefactos. || Rampa para mover objetos pesados.
crujía. Espacio intermedio entre dos muros de carga, generalmente alargado.
cúpula. Construcción abovedada con intradós en forma de superficie de revolución, o aproximada, que cubre un área poligonal o circular. En su parte superior puede terminar en un óculo.

desbastar. Dar a una piedra o pieza de madera la forma aproximada necesaria, para obtener después la forma final.
descimbrar. Quitar la cimbra que ha servido para construir un arco o bóveda.
despiece. Disposición de los sillares en un paramento, y más en particular de las dovelas en un arco o bóveda.

desplome. El defecto que presenta una pared, torre o construcción cualquiera por haber perdido la verticalidad.

desportilladura. Fragmento que se separa del borde de una cosa. || Portillo o mella que queda en el borde de una cosa después de saltar de él un fragmento.

destajo. Se dice a destajo del trabajo contratado a tanto alzado por piezas o unidades de obra, sin tener en cuenta el tiempo que se tarda en su ejecución.

dintel. La pieza horizontal, de cualquier material, que cierra por la parte superior una puerta o una ventana, cargando sobre las jambas y siendo de una pieza en el sentido de su longitud. *Ver también* **adintelada, arco adintelado**.

dique. Murallón de fábrica o madera para contener las aguas.

dolmen. Monumento megalítico en forma de mesa, compuesto de piedras colocadas de plano sobre otras verticales.

dovela. Cada una de las piedras en forma de cuña, generalmente con una cara convexa y otra cóncava, que constituyen un arco o bóveda.

ebanistería. Taller u oficio de construir muebles de madera con labores delicadas, incluyendo los trabajos de ensamblajes, marquetería, barnices, etc.

elasticidad. Cualidad de un material que, habiéndose deformado bajo la acción de una fuerza, recupera su forma original al desaparecer aquélla. En construcción, a veces se emplea para indicar la capacidad de una fábrica para adaptarse a los movimientos.

empotramiento. Apoyo de una estructura que, idealmente, ni se desplaza ni gira.

empuje. El esfuerzo que ejercen hacia afuera contra sus apoyos o estribos los arcos o bóvedas. Con frecuencia se llama «empuje» a la componente horizontal del empuje total inclinado.

encadenado. *Ver* **cadena**.

enlucido. Capa última de mezcla que se da a una pared para que presente una superficie unida y tersa (de cal, yeso, estuco, etc.).

enrasar. Alisar una superficie para que quede nivelada por igual. *Ver también* **retundir**.

enrase. Última hilada de sillares, normalmente de distinto tamaño que el resto, que corona una construcción.

ensamble, ensambladura. Unión entre dos maderos.

— **a caja y espiga.** El realizado mediante el rebaje del extremo de uno de ellos (espiga), para introducirlo en la entalladura practicada en el otro (caja).

— **en cola de milano.** El realizado con una espiga de forma trapezoidal ajustada lateralmente en su caja.

— **a media madera.** Aquel en que se ha practicado un rebaje en cada madero igual a la mitad de su grueso, y de una anchura similar a la del madero contrario.

entalladura. Corte practicado en un madero para poder ensamblarlo con otro.

entallar. Hacer cortes en una pieza de madera para ensamblarla con otra.

entramado. Conjunto de piezas enlazadas entre sí para formar una estructura resistente.

escoplo. Herramienta de hierro utilizada para labrar la piedra o tallar la madera, que tiene un mango o puño de madera en un extremo y filo o bisel en el otro.

escuadrar. Labrar una pieza de madera que sus ángulos sean rectos.
escuadría. Las dos dimensiones de la sección transversal de una pieza de madera que está o ha de ser labrada a escuadra.
espiga. El extremo de un madero o hierro escaseado a escuadra todo alrededor para que encaje en el hueco abierto en otro al que se llama caja, para formar un ensamble a caja y espiga.
espolón. Estribo, contrafuerte.
estrías. Dícese de los canales decorativos que recorren verticalmente el fuste de las columnas y pilastras en toda su superficie.
estribo. La fábrica o machón que soporta o contrarresta el empuje de un arco o de una bóveda.
explanar. Allanar una superficie. || Desmontar un terreno.

fábrica. Cualquier construcción o parte de ella hecha con piedra o ladrillo recibidos, en general, con mortero o argamasa. También se llaman fábricas las construcciones de adobe o tierra y hormigón en masa.
firme. Capa sólida de terreno sobre la que se puede cimentar una construcción.
flecha. Altura, sagita o montea de un arco.
forjado. Elemento superficial plano que constituye la estructura horizontal de un piso o cubierta.
formón. Herramienta de carpintería, similar al escoplo pero de mayor tamaño y anchura en la boca.
fraguado. Proceso de endurecimiento y solidificación de la cal, yeso, cemento, y en general de cualquier argamasa.
freático, nivel. Dícese del nivel hasta el que llega el agua subterránea que empapa las capas profundas del terreno.
fuste. Parte vertical de la columna comprendida entre la basa y el capitel.

grapa. Pieza de hierro en forma de barra, con los extremos doblados en ángulo, que se clavan en dos maderos o se fijan con plomo en las cajas de dos sillares, a fin de unirlos y sujetarlos.

hilada. Conjunto de piedras o ladrillos, cuyos lechos o tendeles están en un mismo plano o superficie continua. Las juntas normales a dichos lechos se llaman llagas.
hipogeo. Subterráneo excavado con distintos fines. || Tipo de sepulcro subterráneo excavado, con una o más estancias.
hipóstila, sala. Sala situada entre el patio porticado y el santuario de un templo egipcio, cuya cubierta está sustentada por columnas.

jabalcón. En general, madero colocado oblicuamente para cubrir un vano o voladizo, o para reforzar otro elemento de una armadura.

jamba. Cada uno de los elementos verticales que sostienen el arco o dintel en un vano. Superficie interna vertical de estos elementos.
jarjamento. En general, sillar común a dos estructuras contiguas. || Salmer común a dos arcos contiguos. *Ver* **salmer.**
junta de dilatación. La que se deja abierta entre los elementos constructivos para permitir la dilatación y contracción de los materiales.

labrar. Dar a los bloques de piedra que se sacan de las canteras las formas convenientes a su empleo en las obras.
larguero. Viga maestra colocada en sentido longitudinal para resistir las cargas en una estructura cualquiera.
lecho. La superficie superior de todo sillar sobre la que se apoya o ha de apoyarse otro. La cara inferior del sillar que se coloca encima se llama sobrelecho porque va sobre el lecho. || En una dovela de un arco o bóveda las caras laterales de contacto con las otras dovelas.
levantamiento. Conjunto de operaciones necesarias para representar gráficamente un edificio construido o un terreno.
lienzo. Cada trozo continuo de pared, muro o muralla.
losa. Piedra plana y de poco espesor, casi siempre labrada, que sirve para solar y otros usos.
luz. Amplitud de un hueco o vano.

macizo. Parte de un muro o fábrica entre vanos, capaz de sostener una carga.
madero. Pieza larga de madera escuadrada o rolliza.
mampostería. Obra de fábrica a base de piedras sin labrar, o poco labradas, aparejadas a veces sin orden de hiladas o tamaños y unidas con argamasa.
mampuesto. Piedra sin labrar o toscamente labrada que puede ser colocada en una obra de fábrica con la mano.
mechinales. Dícese de los orificios que se dejan en una pared o muro para ir metiendo en ellos los maderos horizontales de un andamio durante la construcción.
megalito. Piedra o sillar de grandes dimensiones. || Monumento construido durante la cultura megalítica, que comprende lasedades del cobre y del bronce, a base de grandes bloques de piedra reagrupados de distintas formas.
menhir. Monumento megalítico de carácter religioso-funerario, consistente en un bloque de piedra hincado en tierra verticalmente, que puede encontrarse de forma aislada o en agrupaciones.
ménsula. Miembro que sobresale del plano en el que está puesto y que sirve para recibir o sostener alguna cosa. Generalmente su altura es menor que su vuelo.
moldura. Pieza de ornamentación longitudinal de determinado perfil.
momento. De una fuerza respecto a un punto. Representa la tendencia a girar de la fuerza respecto a aquél. Es igual al producto de la fuerza por la distancia más corta entre su línea de acción y el punto.
monolito. Piedra de una sola pieza.

montante. Pieza o elemento vertical que trabaja a compresión. || Listón o columnilla de una tracería o que divide el vano de una ventana. *Ver* **pie derecho**.

mortero. Mezcla de cal o cemento, arena y agua, principalmente.

muralla. Muro defensivo.

muro. Obra de fábrica en la que el espesor es pequeño en relación con la altura y anchura, y que en general sirve para cerrar un espacio.

— **de contención.** El que se emplear para contener las tierras, oponiendo su peso al empuje del terreno.

necrópolis. Agrupación de enterramientos sepulcrales anteriores a la era cristiana, cementerio.

obelisco. Monumento conmemorativo, o simplemente decorativo, consistente en un pilar monolítico de base cuadrada y remate piramidal, cubierto de inscripciones jeroglíficas, que se colocaba ante los pilonos del templo.

ornamentación. Conjunto de motivos y elementos sin función constructiva, cuyo papel es meramente decorativo.

pabellón. Pequeño edificio aislado, templete, quiosco o baldaquino, que generalmente forma parte de otro edificio o está contiguo a él.

pandeo. Fallo por inestabilidad de un elemento esbelto cargado a lo largo de su eje.

paño. Lienzo de pared

paral. Madero empotrado en un mechinal que sirve de apoyo al tablón del andamio

paramento. Cualquiera de las dos caras de un muro. || Cualquiera de las caras de un sillar.

pechina. Sistema constructivo que permite superponer dos estructuras de diferente trazado geométrico, como una cúpula octogonal o circular sobre una base cuadrada o poligonal. Consiste en disponer en los ángulos de asentamiento triángulos o trapecios curvilíneos definidos por el anillo de la cúpula y los arcos torales.

pedestal. Base o pie de otro elemento.

pendiente. Ángulo que forma con la horizontal una línea o plano.

peralte. Lo que excede en altura un arco o bóveda de su propia semiluz.

perfil. Sección vertical de un cuerpo. En una bóveda, curva que forma su línea media o intradós.

pie. Unidad tradicional para medir longitudes que mide aproximadamente como el pie del hombre. Las medidas concretas variaban en función de la época y del lugar.

pie derecho. Elemento vertical de una estructura que funciona como soporte.

pilastra. Elemento vertical adosado a un muro, de sección rectangular o poligonal, generalmente de función ornamental.

pilonos. Grandes construcciones de fábrica que encuadran simétricamente la entrada de un templo o de un santuario.

piñón. Hastial, o muro de cerramiento cuya intersección con los faldones de cubierta define un remate triangular.

plataforma. Dícese de la superficie plana y allanada para construir los cimientos de una edificación. || Cubierta horizontal de algunas construcciones.

polipasto. Sistema de poleas, donde una se mantiene fija y el resto son móviles.

pórtico. Sitio cubierto y con columnas construido delante de un edificio. || Atrio o galería con columnas o arcos construido delante de un edificio. || Claustro o patio cercado de columnas o pilares.

prestación personal. Servicio personal exigido por la ley a una población para obras de utilidad común.

puente. Plataforma horizontal sobre la que se trabaja en los andamios.

pulimentar. Alisar una superficie.

puntal. Madero y en general cualquier elemento que funciona como apoyo o sostén provisional de una pared, techo, etc.

punzón. Instrumento puntiagudo de hierro que sirve para taladrar.

quiosco. Edificio de pequeño tamaño con función litúrgica, separado del templo principal, soportado por columnas, arriostradas por celosías en todos o algunos de los laterales, que dejan pasar la luz por la parte alta.

rampa. Plano inclinado dispuesto para salvar la diferencia de nivel entre dos superficies, por el que se puede subir y bajar.

rasilla. Ladrillo delgado, empleado generalmente en tabiques, a fin de aligerar el peso del mismo.

rebajar. Disminuir la altura o nivel de algo. *Ver también* **arco rebajado.**

redientes. Resalto que se hace de trecho en trecho para construir un muro en un terreno con pendiente || Ladrillo o sillar dejado intencionadamente sobresalir en una obra, con el objeto de trabar mejor con la parte que a continuación se construirá.

repasar. *Ver* **retundir**.

replantear. Trazar la planta de un edificio a construir sobre el terreno o el plano de cimientos.

resalto. Vuelo o parte saliente de un elemento respecto a la fachada o paramentos contiguos.

retracción. Disminución de tamaño que sufren los materiales al fraguar.

retranqueo. Dícese del plano o el cuerpo que se retira más atrás de la alineación general.

retundir. Rellenar las juntas y alisar la superficie de un paramento tras su construcción.

revestimiento. Recibe este nombre todo tipo de recubrimiento de una superficie, ya sea su función protectora u ornamental.

riñón. En un arco o bóveda la zona del trasdós comprendida, aproximadamente, en la primera mitad de su altura.

riostra. Pieza cuya función es asegurar la indeformabilidad de una estructura, de un armazón o de un ángulo. Suele ir en general dispuesta en forma oblicua.

rodillo. Madero redondo y fuerte que se hace rodar para llevar o arrastrar cosas de mucho peso.

rollizo. Madero redondo, descortezado y sin labrar.
rozamiento. Resistencia que ofrece un cuerpo a rodar o deslizar sobre otro.

salmer. En un arco, la primera dovela, cortada en plano inclinado, que inicia el arranque del mismo. También se ha llamado salmeres, como ocurre en este texto, a las primeras piezas cuando están separadas por planos horizontales.
sarcófago. Sepulcro.
sentar. Colocar en obra un sillar, un madero, etc., afirmándolo en el sitio en que ha de permanecer y en situación conveniente y estable.
— **a hueso, en seco.** Sentar la piedra o ladrillo en obra sin mortero.
sillar. Piedra escuadrada que se emplea en la construcción.
sillería. Obra de fábrica construida a base de sillares, en particular cuando éstos están bien labrados. Las juntas son siempre horizontales y verticales. En la auténtica sillería los tendeles son continuos de manera que los sillares de una misma hilada tienen todos la misma altura.
solera. En una armadura de cubierta, el madero asentado horizontalmente en la parte superior del muro, en el que apoyan los extremos inferiores de los pares y que, con frecuencia, recibe también a intervalos los tirantes cuando los hay. También se llama, a veces, estribo.
solera. Elemento plano de piedra u otro material que sirve de base a un pie derecho.

tajo. Sitio hasta donde llega en su faena la cuadrilla de operarios que trabaja avanzando sobre el terreno, como taladores, mineros, obreros, etc.
tallar. Esculpir o labrar con cincel u otra herramienta la piedra, la madera, etc.
talud. Superficie inclinada de un terreno, terraplén, etc. || Paramento inclinado de un muro, cuando éste tiene la base más ancha que su parte superior.
tambor. En el fuste de una columna, cada una de las piedras cilíndricas o troncocónicas, con o sin estrías, que lo componen. || Muro de planta circular o poligonal que soporta una cúpula.
tapial. Dícese de una tapia construida a base de barro apisonado. || Molde formado por dos tableros paralelos, unidos normalmente por costales y agujas para la construcción de tapias. || Cada uno de los tableros que componen el encofrado o molde.
tas-de-charge. Enjarje, jarjamento, arranque común de los diversos arcos o nervios que concurren a un mismo apoyo en las bóvedas de crucería. En general, las hiladas de las piedras o ladrillos son horizontales.
tenaza. Herramienta metálica utilizada para el levantamiento de las piedras, que está formada por dos brazos cruzados y unidos por un eje que permite abrirlos y cerrarlos.
tensión. La tensión media en una sección o junta de una estructura se obtiene dividiendo la fuerza que actúa por la superficie.
terraplén. Macizo de tierra excavada con que se rellena un hueco o se levanta el nivel del terreno.

tirante. Elemento recto de hierro o madera que se coloca en los arcos o bóvedas y en las armaduras de madera para absorber la componente horizontal del empuje. De esta manera, los apoyos reciben sólo cargas verticales.
tizón. Perpiaño, sillar que atraviesa todo el muro. También, sillar o ladrillo colocado con su dirección más larga perpendicular al paramento.
torno. Máquina simple que consiste en un cilindro dispuesto para girar alrededor de su eje por la acción de palancas, cigüeñas o ruedas, y que ordinariamente actúa sobre la resistencia por medio de una cuerda que se va arrollando al cilindro.
tornapunta. Pieza de madera o hierro que se coloca inclinada para sostener o apear.
tracción. Esfuerzo o tensión que tiende a estirar un elemento. Los metales y la madera resisten bien la tracción. Sin embargo, la fábrica apenas resiste las tracciones. En el análisis límite de las fábricas se considera su resistencia a tracción nula.
trasdós. En un arco o una bóveda, es la superficie que los limita por la parte superior y externa, concéntricamente con el intradós, o aproximadamente.
travesaño. Pieza horizontal entre verticales.
traviesa. Pieza horizontal ensamblada en los largueros o montantes de un bastidor.
traza. Plano, dibujo o diseño de un edificio o parte de él, o trazado que sirve a su construcción.
túmulo. Protuberancia del terreno producida artificialmente como consecuencia de la excavación de una sepultura.
utillaje. Conjunto o colección de útiles, instrumentos o máquinas propios de un arte, profesión o trabajo.

vaciar. Excavar
vano. Parte del muro o fábrica en que no hay apoyo para el techo o bóveda, como son los huecos de ventanas o puertas y los intercolumnios. Se opone al macizo en la planta.
verdugada. Hilada horizontal de ladrillos intercalada en obra de otro material.
vigueta. En general, las vigas secundarias o menores que se apoyan en las vigas principales. En un entramado de suelo, son aquellas que soportan directamente el entarimado.
viguería. Conjunto de vigas de una fábrica o edificio.
voladizo. Elemento que vuela o sobresale de las paredes o edificios.
voltear. Abovedar, construir un arco o una bóveda.
vuelo. Parte de una fábrica que forma saliente en el paramento que la sostiene.

zanca. En una escalera, la viga inclinada en la que se apoyan y fijan las huellas y contrahuellas por el lado del vano.
zanja. Excavación larga y estrecha donde se construyen los cimientos de un edificio o se instalan conducciones, tendidos eléctricos, etc.
zapata. Pieza de forma prismática que se coloca horizontalmente entre un pie derecho o una columna y la viga que apoya sobre ellos, para acortar el vano.
zócalo. Cuerpo inferior de una construcción cuya función es la de elevar los basamentos a un mismo nivel. || Especie de pedestal.

Índice alfabético

Los números en cursiva se refieren a páginas en las que aparece una ilustración relacionada con la entrada correspondiente o con el autor citado. Las láminas llevan numeración romana.

Láminas

Clasificación de las láminas. Documentos fotográficos

Muros ondulados

RECINTO DEL TEMPLO DE FILE

I 1 y 2. Muro de ladrillo; basamento curvo siguiendo la ondulación de los lechos

II 1. Detalle del basamento. Tramo convexo menos largo y menos curvo que el tramo cóncavo. Saliente en el punto donde la curvatura cambia de sentido

MUELLE DE ESNA

II 2. Cimientos de piedra, originalmente coronados por una muralla de ladrillo de lechos ondulados

RECINTO DEL TEMPLO DE KARNAK

III 1 y 2. Tramos cóncavos alternando unas veces con tramos convexos, y otras con tramos rectos. Juntas de separación. Mechinales de los andamios

IV 1 y 2. Otras dos vistas del recinto

FORTALEZA DE ELKAB

V 1. Paño de muralla donde los tramos cóncavos alternan con tramos convexos
2. Paño donde intervienen tramos rectos

VI 1. Sección de un tramo cóncavo: Lechos abombados transversalmente
2. Sección de un tramo recto: Lechos rectilíneos

VII 1. Rampa de lechos inclinados
2. Paramento oculto en otros tiempos por una rampa

RECINTO DEL TEMPLO DE DEIR EL-MEDINEH

VIII 1. Concavidades y convexidades alternas. Muro agrietado por el empleo de ladrillos demasiado húmedos

FORTALEZA EN LA PLANICIE DE ABYDOS

VIII 2. Paño interrumpido por tramos cóncavos

RECINTO DEL TEMPLO DE KOM OMBO

IX 1. Tramos alternativamente cóncavos y rectos

Muros sin ondulaciones

DEFENSAS INTERIORES DE ELKAB

IX 2. Muro con núcleo de cascote

FORTALEZA SOBRE UNA DE LAS COLINAS DE ABYDOS

X 1. Construcción por lechos horizontales, con verdugadas de ladrillo de canto
2. Revestimiento decorativo independiente del núcleo del muro

Bóvedas ejecutadas por rebanadas y sin cimbra

GALERÍAS ANEXAS AL RAMESSEUM

XI 1. Bóvedas de hojas. Roscas embutidas y reforzadas por nervaduras exteriores. Riñones en *tas de charge*
2. Hundimiento del cañón en el intervalo entre nervaduras. Perfil variable desde el arco carpanel al apuntado

DEPENDENCIAS DEL TEMPLO DE MEDINET HABU

XII 1. Bóveda carpanel peraltada
2. Bóveda de acueducto ejecutada (excepcionalmente) con ladrillos cocidos, y perfil apuntado

DEPENDENCIAS DEL TEMPLO DE DEIR EL-MEDINEH

XIII 1. Bóveda rebajada

Construcciones por vuelos sucesivos

TEMPLO DE ABYDOS

XIII 2. Cañón realizado a base de piedras en voladizo

Construcciones auxiliares de ladrillo y terraplenes

PILONOS Y PÓRTICOS INACABADOS DEL PRIMER PATIO DE KARNAK

XIV 1 y 2. Pilono sur. Restos de la escalera que sirvió para la elevación de las piedras: Rampas y tabicas. Indicios de la forma original del terraplén: Huellas de la viguería de las chozas construidas en los laterales; una columna que no se puede tallar definitivamente a causa de su presencia.

XV 1. Detalles de la estructura de ladrillo del terraplén y de la columna oculta tras él
2. Pilono norte. Restos de la escalera de elevación

XVI 1. Pórtico. Vista interior con el paramento exterior de ladrillo que contenía las tierras

SALA HIPÓSTILA DE KARNAK

XVI 2. Terraplén auxiliar para la labra definitiva, en el ángulo occidental de la sala

Asiento de los monolitos: indicios de las maniobras sobre arena

COLOSOS DEL PRIMER PATIO DE LUXOR

XVII 1. Ranuras, en el pedestal, donde se alojaban los pequeños sacos de arena

PEDESTAL DE UN COLOSO EN EL SEGUNDO PATIO DE KARNAK

XVII 2. En lugar de ranuras, dos huecos tallados en la piedra de asiento

ARQUITRABES DE LA SALA HIPÓSTILA

XVIII 1. Vigas dobles hechas con bloques de canto variable y piezas niveladoras

XVIII 2. Huecos que pudieron servir para las maniobras sobre arena

Detalles de las construcciones de sillería

LUXOR

XIX 1. Pared compuesta por dos paramentos yuxtapuestos sin ligazón. Aparejo de juntas quebradas. Labra inacabada

EDFÚ

XIX 2. Anclajes de madera en forma de cola de milano. Anclajes de los andamios volantes

LUXOR

XX 1. Aparejo de una columnata. Ensamble en bisel de los arquitrabes de esquina

MEDINET HABU

XX 2. Construcción y estanqueidad de las terrazas

LUXOR

XXI 1. Pilono: Ejemplo de las irregularidades en el aparejo en la época de Ramsés

Construcciones de mamposteria. Construcciones mixtas de piedra y terraplenes

KARNAK

XXI 2. Un pilono construido con un terraplén revestido de sillería. Estado de ruina causado por la desaparición del núcleo de tierra

SAKARA

XXII 1 y 2. Pirámide escalonada ejecutada por capas, que envuelve a las tumbas más antiguas, una de las cuales se distingue en los arranques

MEIDUM

XXIII 1 y 2. Pirámide escalonada, formada por la alternancia de una capa de fábrica maciza y dos capas de relleno entre paramentos. Escalonamiento de las gradas, marcado por bandas horizontales de paramento no labrado

Indicaciones sobre el trabajo en las canteras

ASUÁN

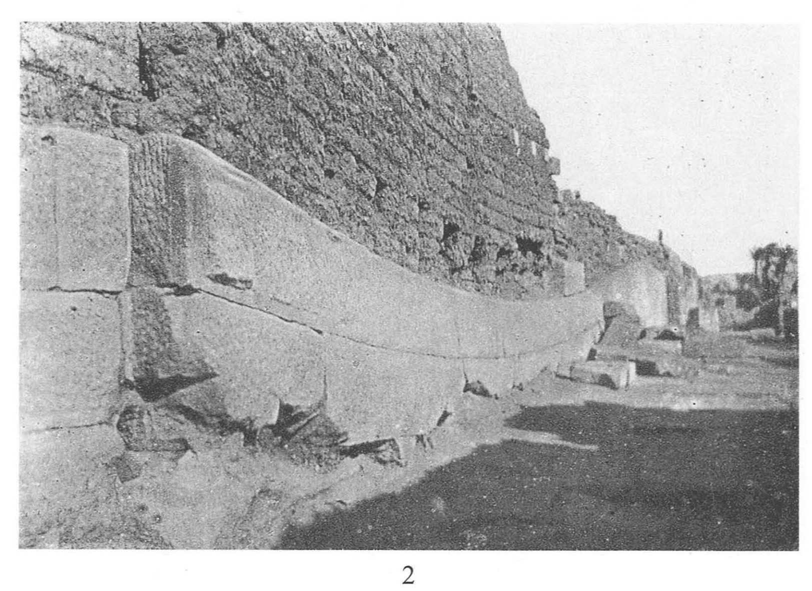
XXIV 1 y 2. Entalladuras abiertas para la extracción de los bloques de granito. Vista de un bloque extraído de forma incompleta

Lámina I

1 y 2. Muros ondulados de ladrillo; basamento curvo siguiendo la ondulación de los lechos (murallas de File)



1

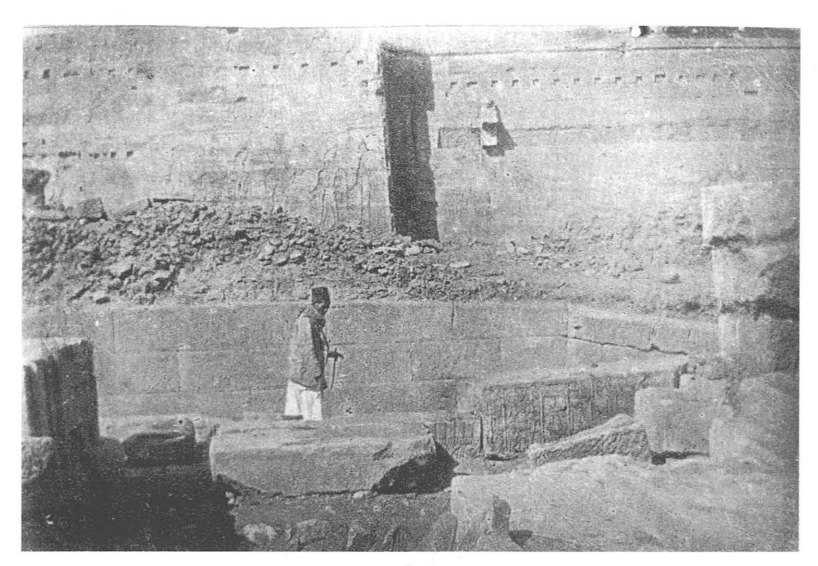


2

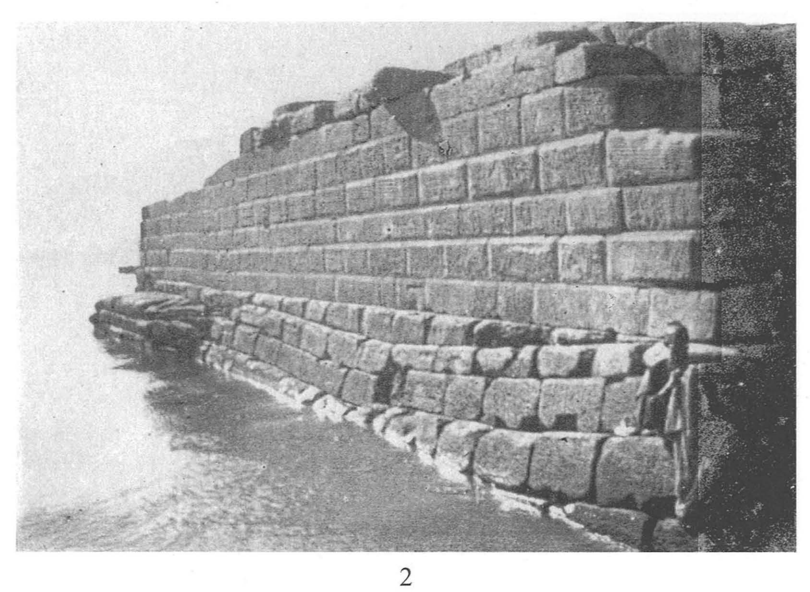
FILE

Lámina II

1. Detalle del basamento. Tramo convexo menos largo y menos curvo que el tramo cóncavo. Saliente en el punto donde la curvatura cambia de sentido (murallas de File)
2. Cimientos de piedra, originalmente coronados por una muralla de ladrillo de lechos ondulados (muelle de Esna)



1



2

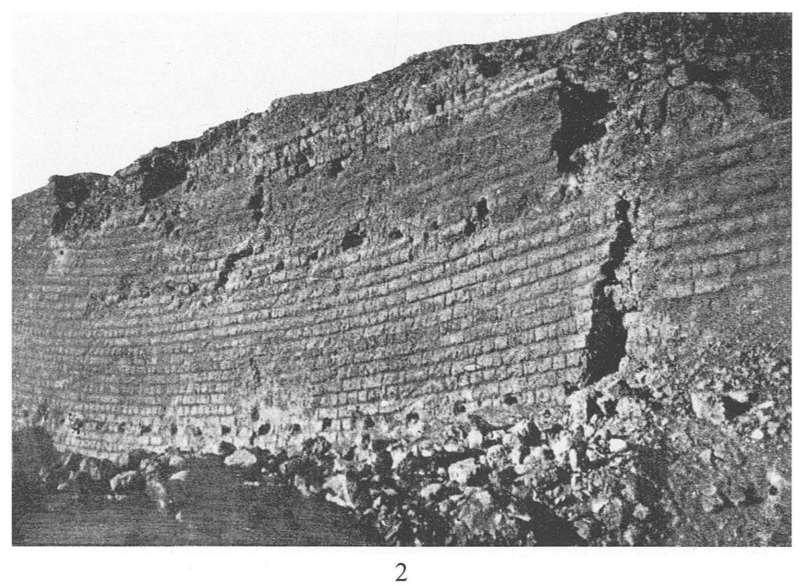
1 File – 2 Esna

Lámina III

1 y 2. Tramos cóncavos alternando unas veces con tramos convexos, y otras con tramos rectos. Juntas de separación. Mechinales de los andamios (recinto amurallado de Karnak)



1

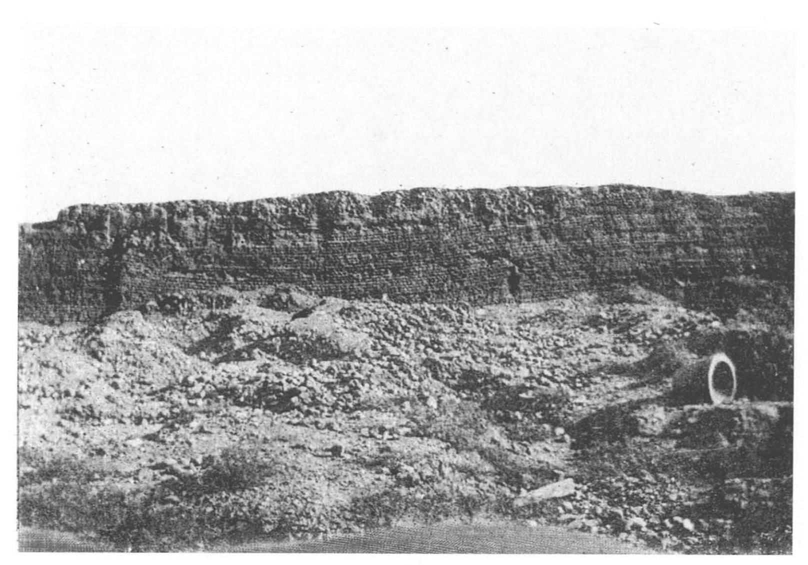


2

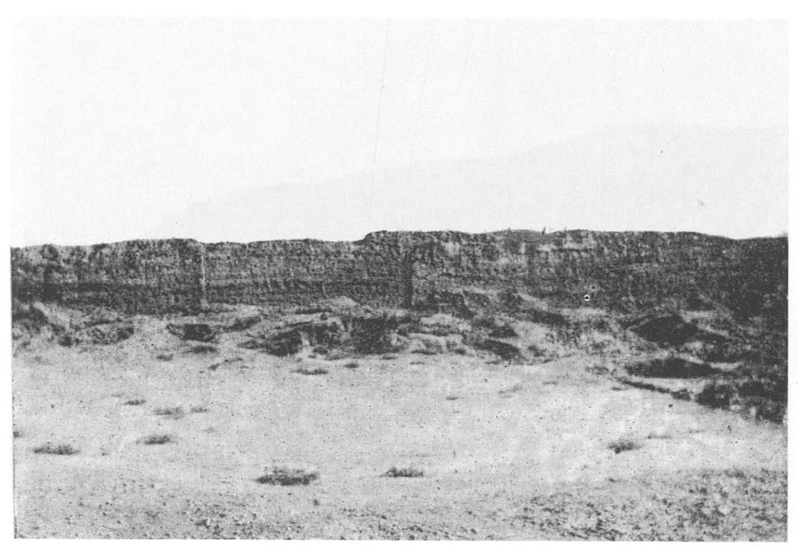
KARNAK

Lámina IV

1 y 2. Vistas del recinto amurallado de Karnak



1

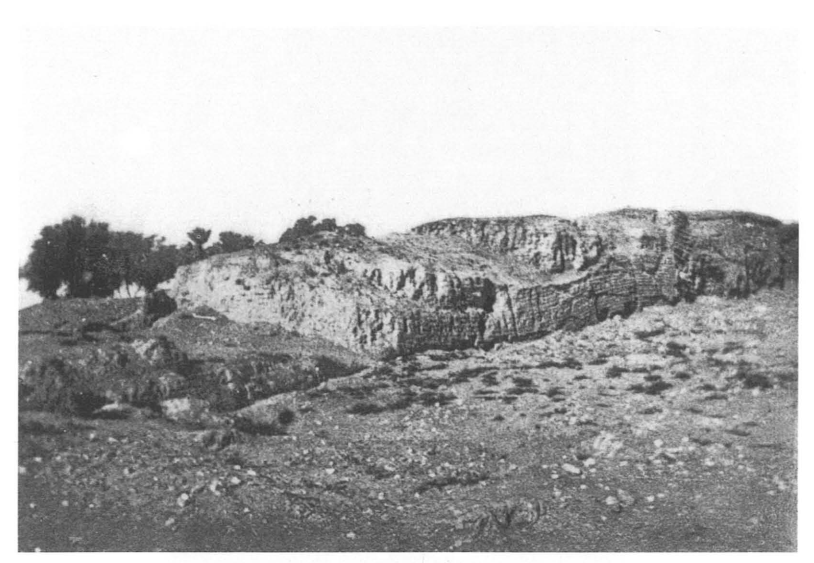


2

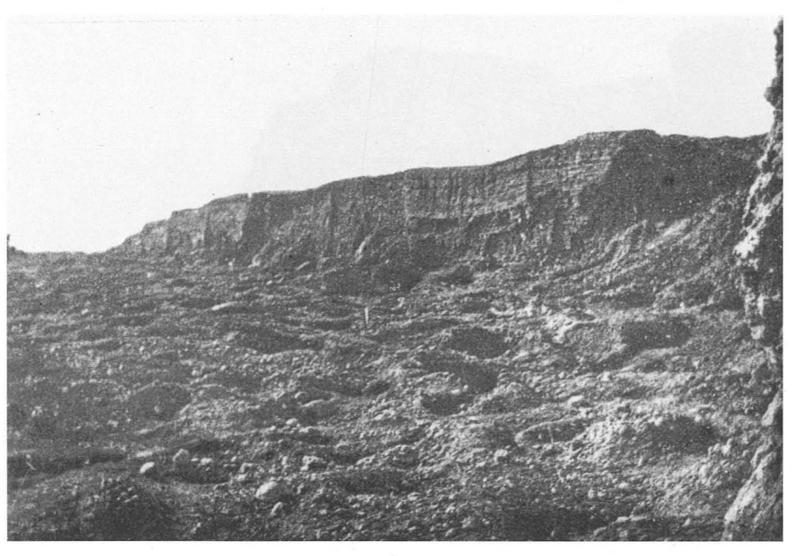
KARNAK

Lámina V

1. Paño de muralla donde los tramos cóncavos alternan con tramos convexos (fortaleza de Elkab)
2. Paño de muralla con alternancia de tramos curvos y rectos (fortaleza de Elkab)



1

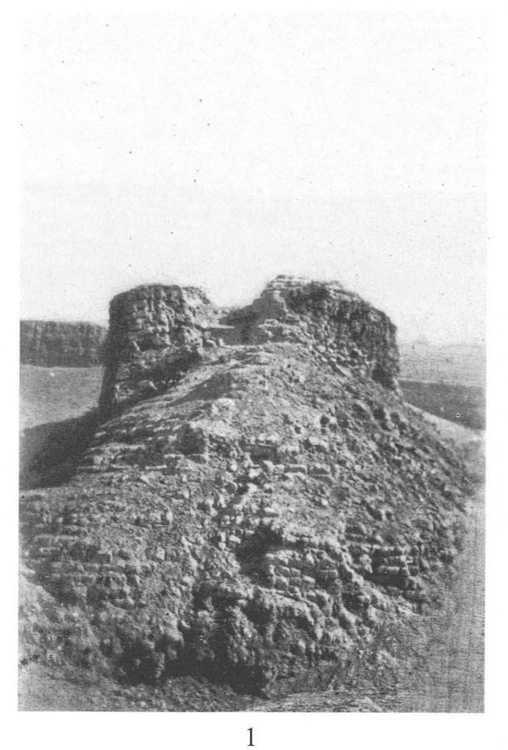


2

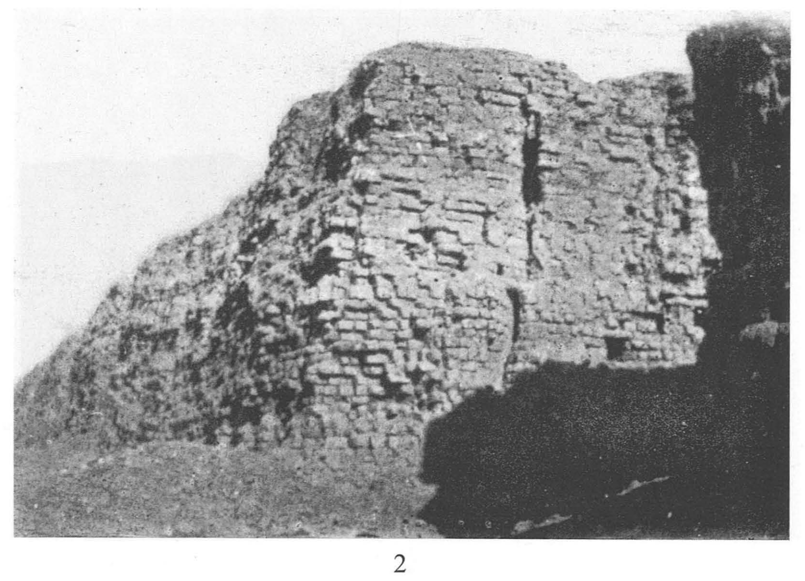
ELKAB

Lámina VI

1. Sección de un tramo cóncavo: Lechos abombados transversalmente (fortaleza de Elkab)
2. Sección de un tramo recto: Lechos rectilíneos (fortaleza de Elkab)



1

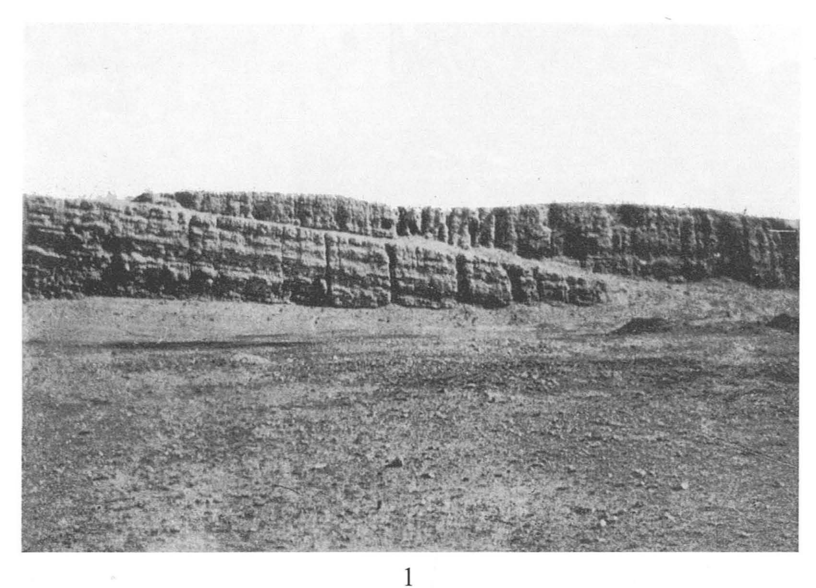


2

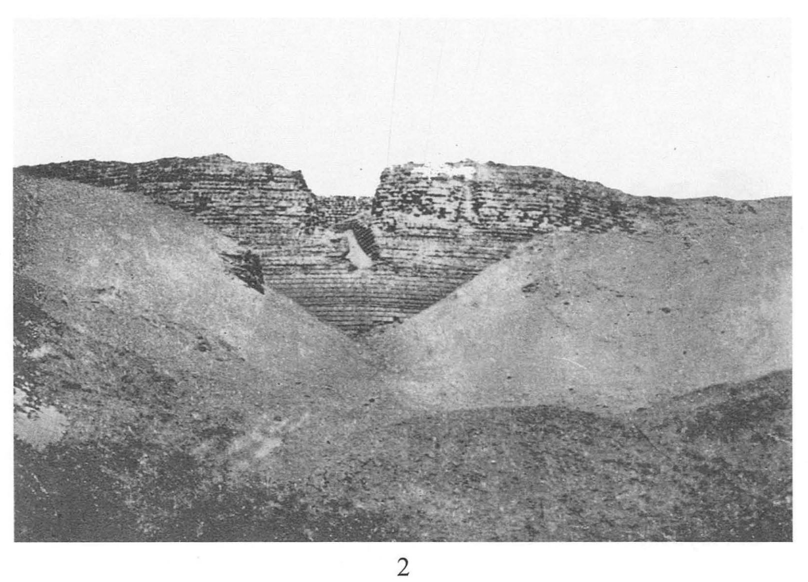
ELKAB

Lámina VII

1. Rampa de lechos inclinados (fortaleza de Elkab)
2. Paramento oculto en otros tiempos por una rampa (fortaleza de Elkab)



1

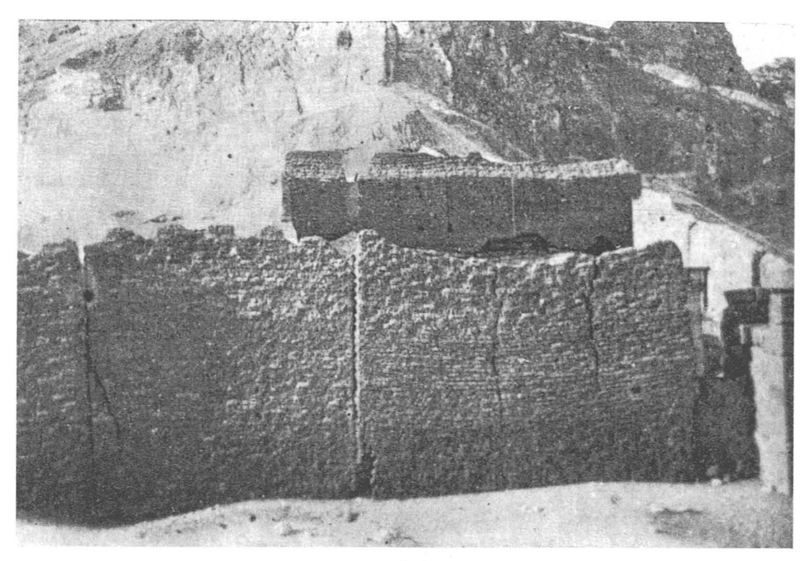


2

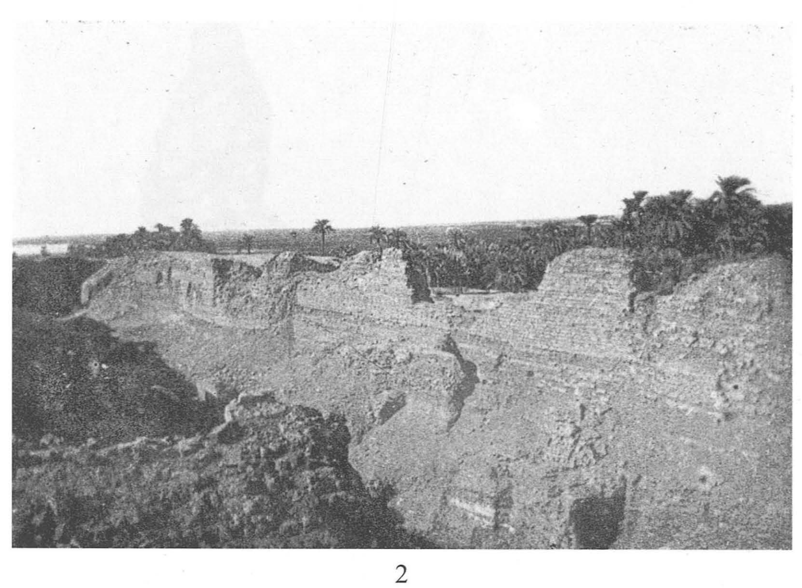
ELKAB

Lámina VIII

1. Concavidades y convexidades alternas. Muro agrietado por el empleo de ladrillos demasiado húmedos (murallas del templo de Deir El-Medineh)
2. Paño interrumpido por tramos cóncavos (fortaleza en la planicie de Abydos)



1

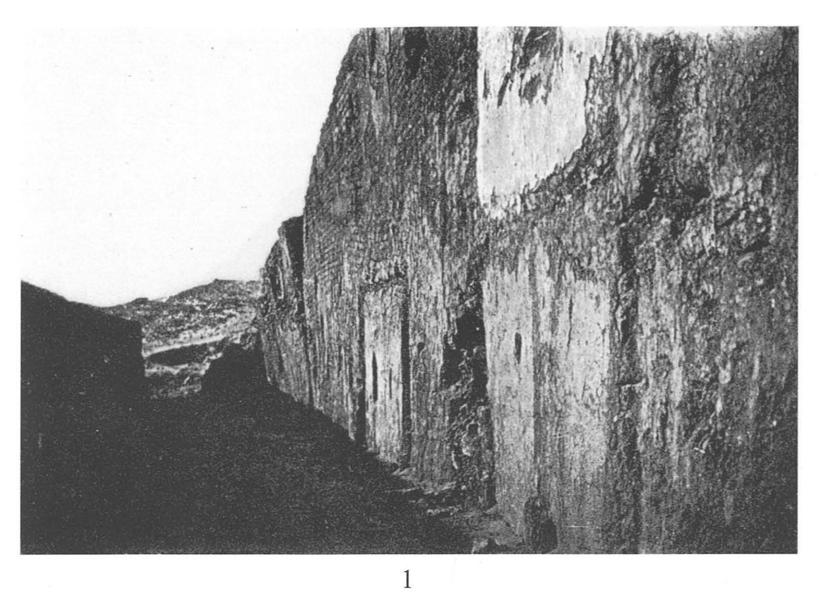


2

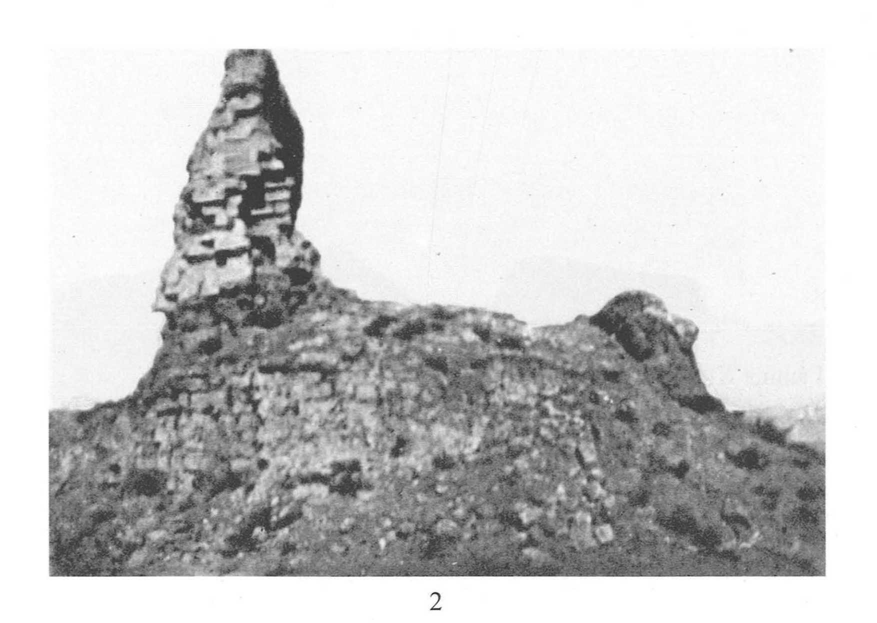
1 Deir El-Medineh – 2 Abydos

Lámina IX

1. Tramos alternativamente cóncavos y rectos (murallas del templo de Kom Ombo)
2. Muro sin ondulaciones con núcleo de cascote (defensas interiores de Elkab)



1

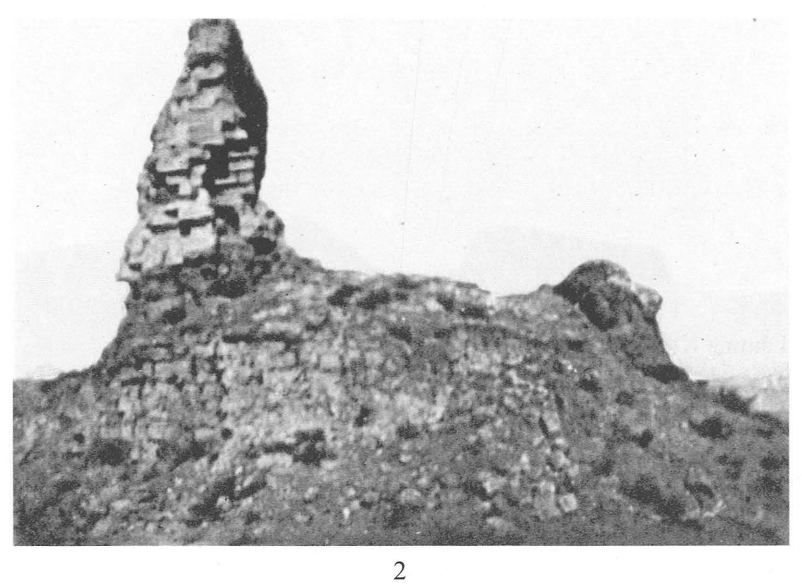


2

1 Kom Ombo – 2 Elkab

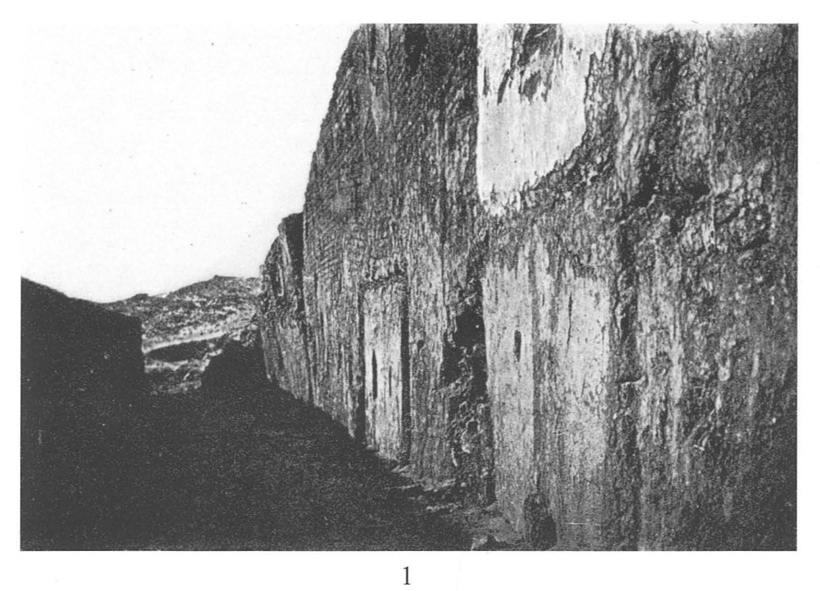


1

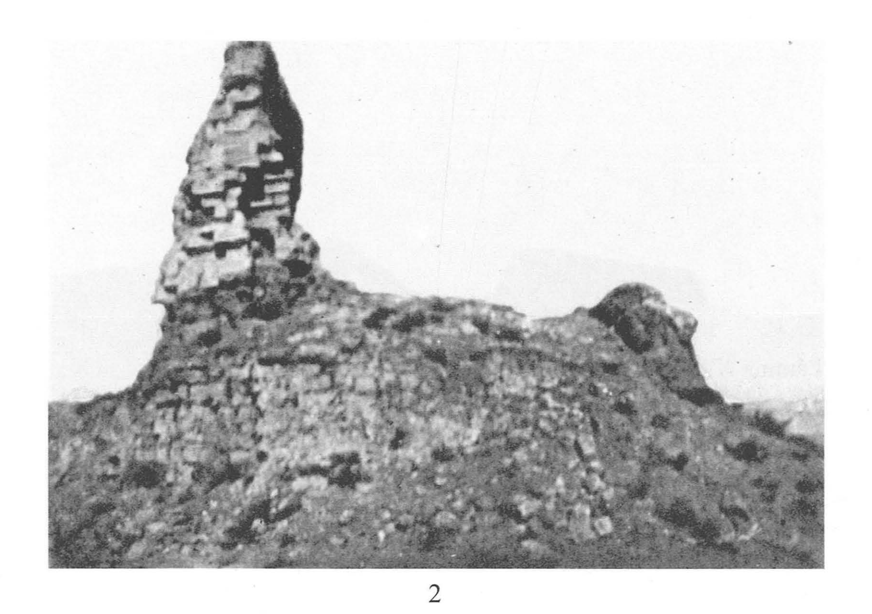


2

1 Kom Ombo – 2 Elkab



1



2

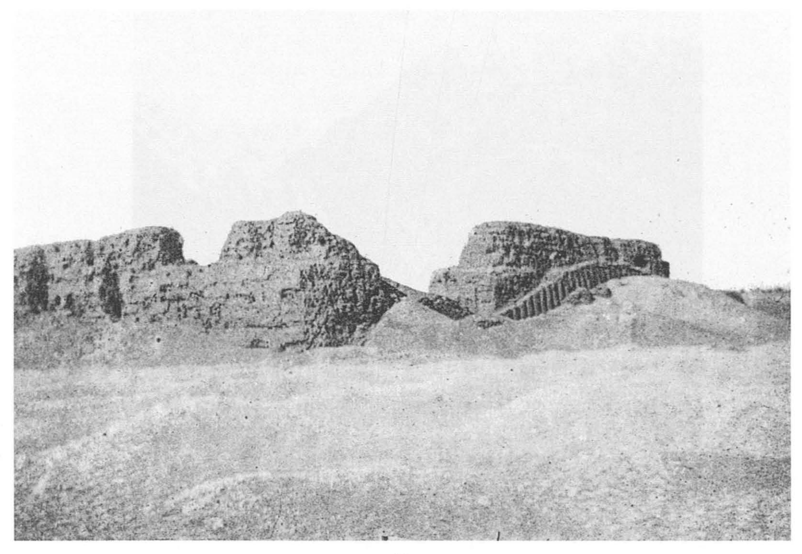
1 Kom Ombo – 2 Elkab

Lámina X

1. Construcción por lechos horizontales, con verdugadas de ladrillo de canto (fortaleza sobre una de las colinas de Abydos)
2. Revestimiento decorativo independiente del núcleo del muro (fortaleza sobre una de las colinas de Abydos)



1

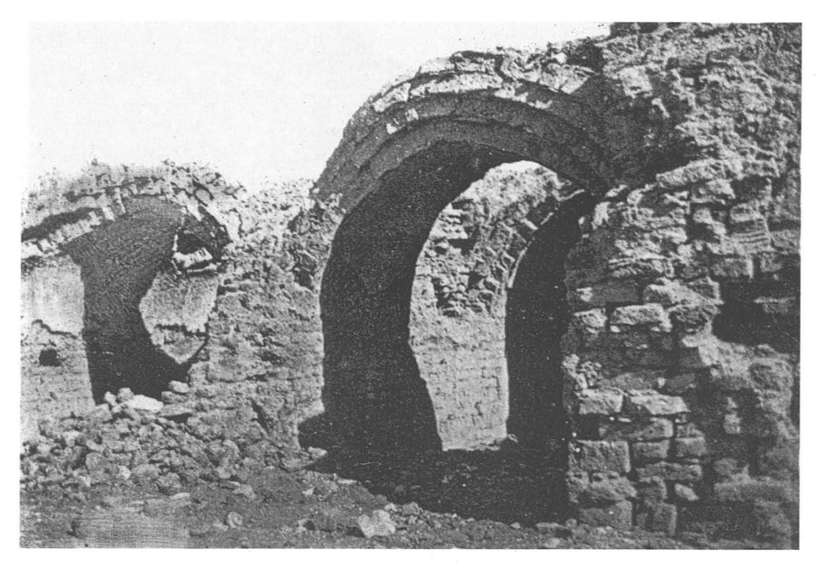


2

ABYDOS

Lámina XI

1. Bóvedas de hojas, ejecutadas sin cimbra. Roscas embutidas y reforzadas por nervaduras exteriores. Riñones en *tas-de-charge* (galerías anexas al Ramesseum)
2. Hundimiento del cañón en el intervalo entre nervaduras. Perfil variable desde el arco carpanel al apuntado (galerías anexas al Ramesseum)



1

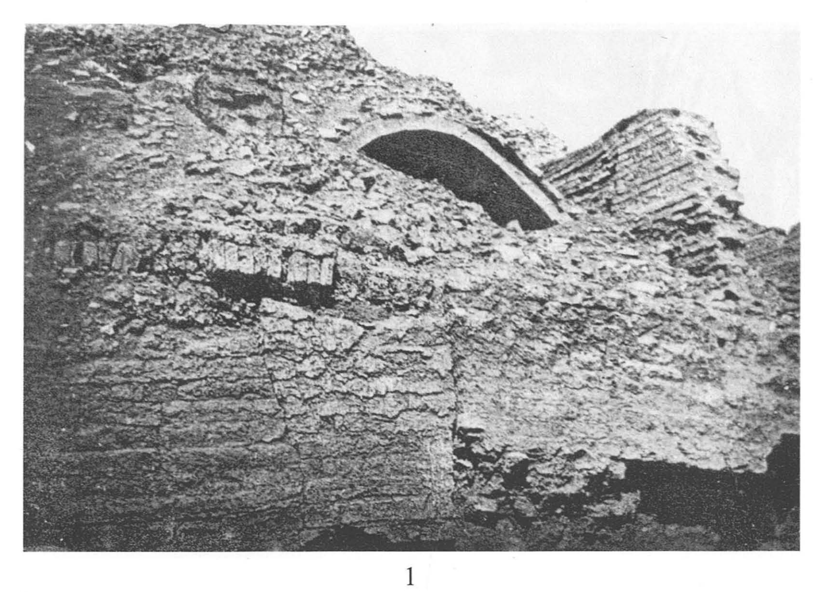


2

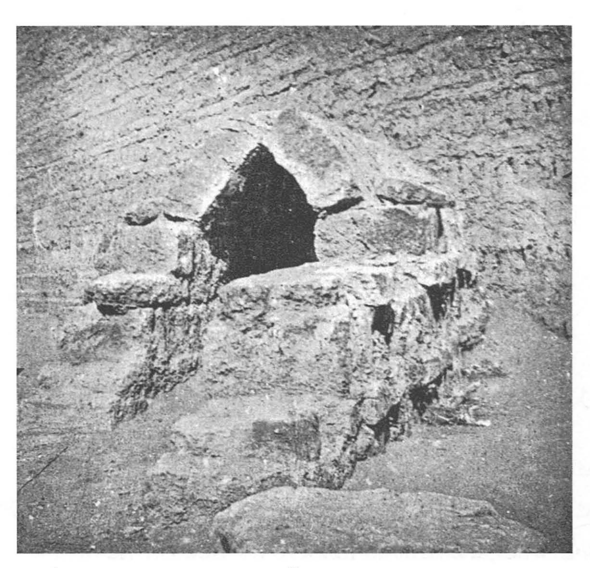
RAMESSEUM

Lámina XII

1. Bóveda carpanel peraltada (templo de Medinet Habu)
2. Bóveda de acueducto ejecutada, excepcionalmente, con ladrillos cocidos, y perfil apuntado (templo de Medinet Habu)



1



2

MEDINET HABU

Lámina XIII

1. Bóveda rebajada de hojas (templo de Deir el-Medineh)
2. Cañón realizado a base de piedras en voladizo, en falsa bóveda (templo de Abydos)



1

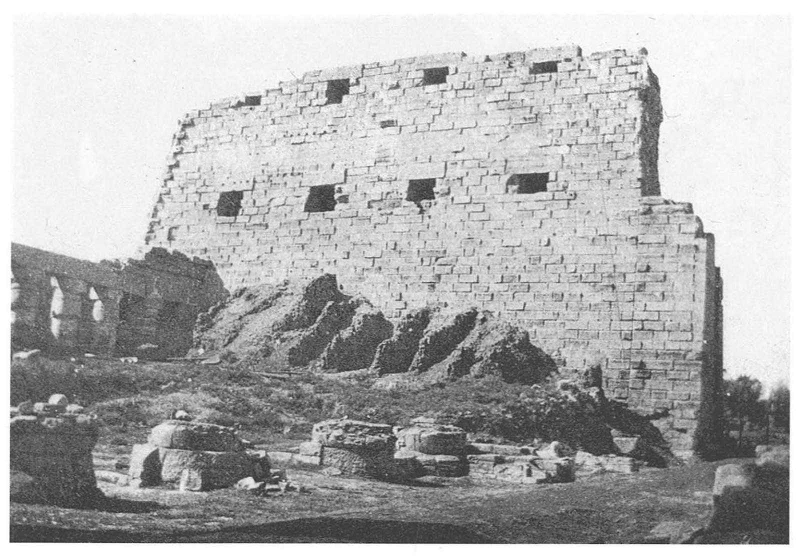


2

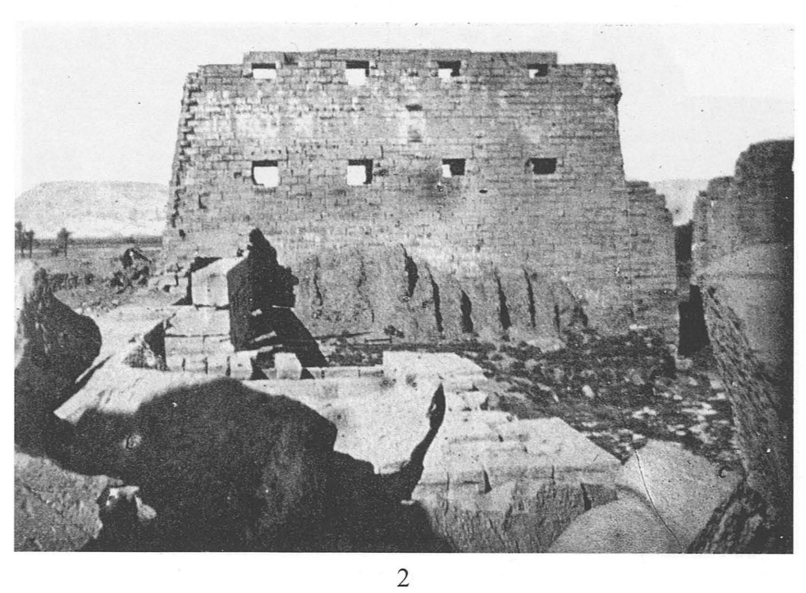
1 Deir El-Medineh – 2 Abydos

Lámina XIV

1 y 2. Construcciones auxiliares de ladrillo y terraplenes en el Pilono sur del primer patio de Karnat. Restos de la escalera que sirvió para la elevación de las piedras: muros zanca y contrahuellas. Indicios de la forma original del terraplén: huellas de la viguería de las chozas construidas en los laterales. Una columna que no se puede tallar definitivamente a causa de su presencia.



1

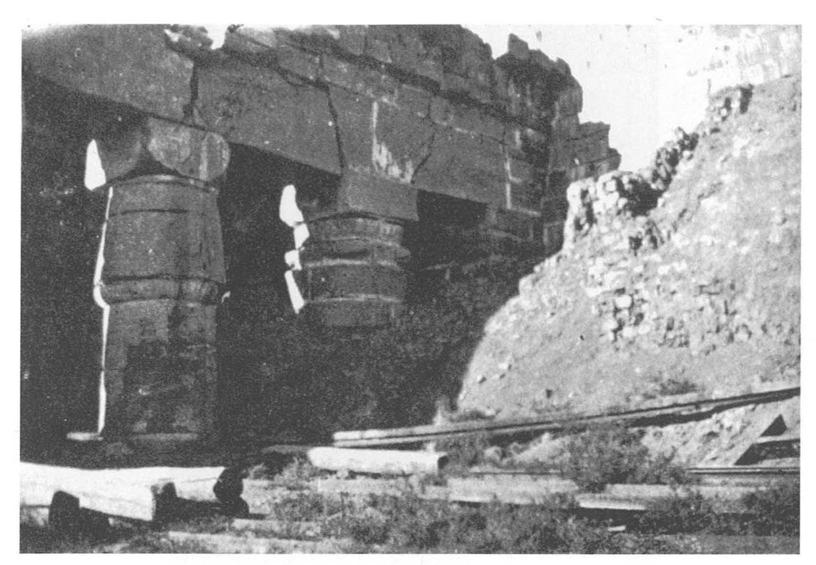


2

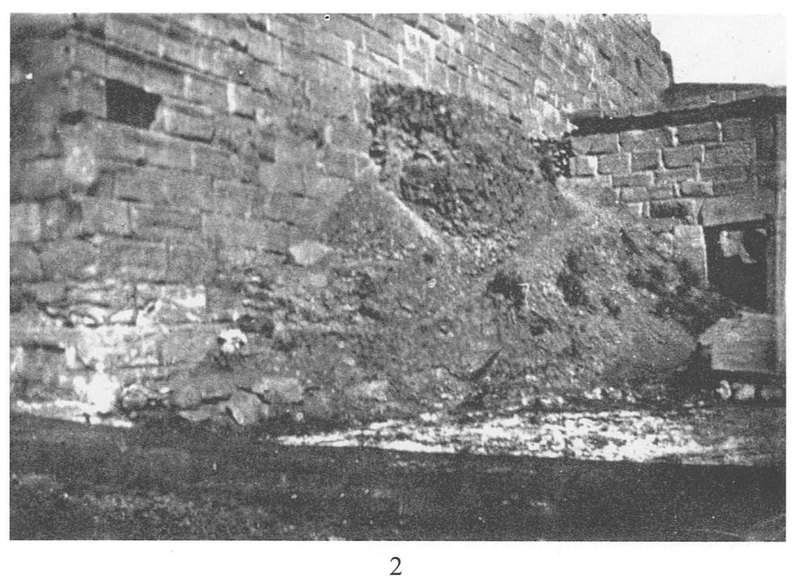
KARNAK

Lámina XV

1. Detalles de la estructura de ladrillo del terraplén y de la columna oculta tras él (pórtico inacabado del primer patio de Karnak)
2. Pilono norte. Restos de la escalera de elevación (primer patio de Karnak)



1

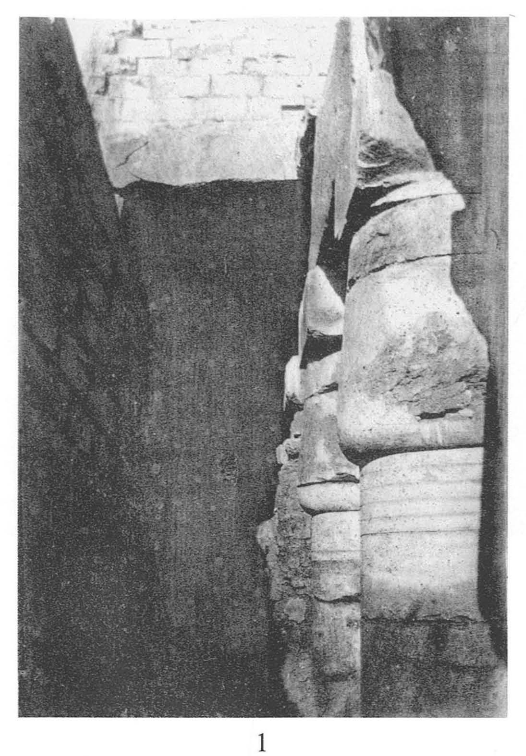


2

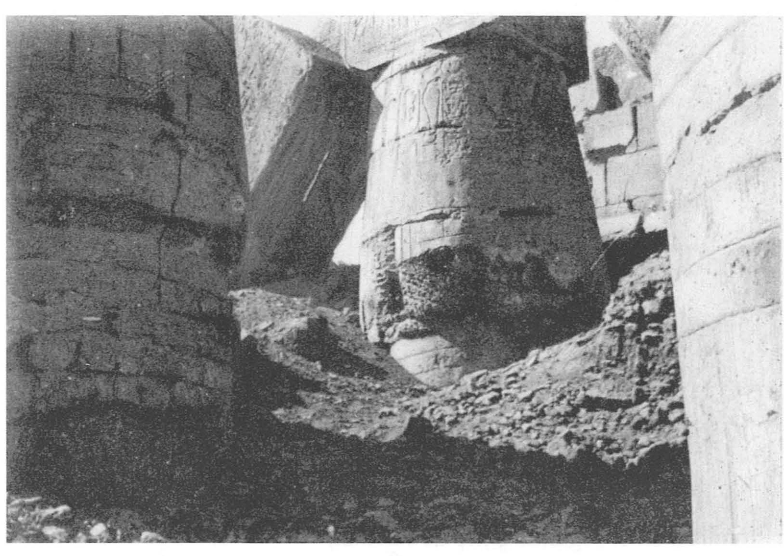
KARNAK

Lámina XVI

1. Pórtico del primer patio de Karnak. Vista interior con el paramento exterior de ladrillo que contenía las tierras
2. Terraplén auxiliar para la labra definitiva, en el ángulo occidental de la sala (sala hipóstila de Karnak)



1

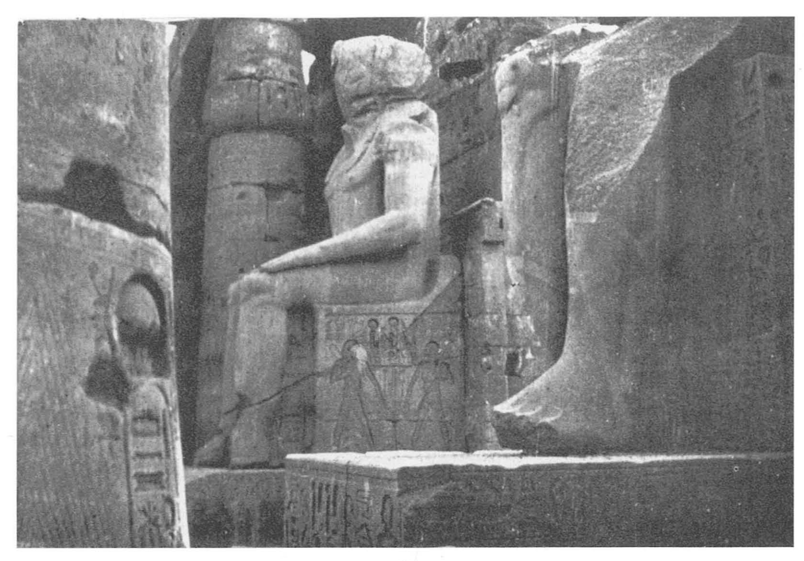


2

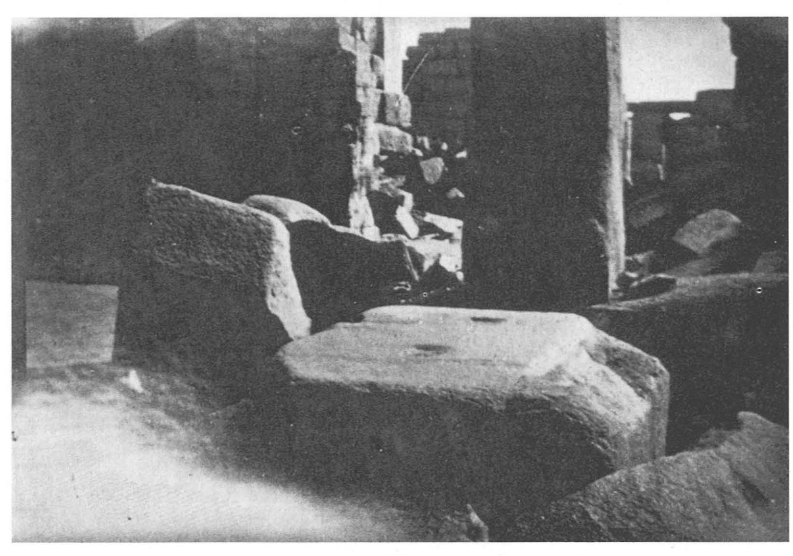
KARNAK

Lámina XVII

1. Asiento de los colosos. Ranuras, en el pedestal, donde se alojaban los pequeños sacos de arena (colosos del primer patio de Luxor)
2. Dos huecos tallados, en vez de ranuras, en la piedra de asiento (coloso en el segundo patio de Karnak)



1



2

1 Luxor – 2 Karnak

Lámina XVIII

1. Arquitrabes formados por vigas dobles hechas con bloques de canto variable y piezas niveladoras (sala hipóstila de Karnak)
2. Huecos que pudieron servir para las maniobras sobre arena (sala hipóstila de Karnak)



1

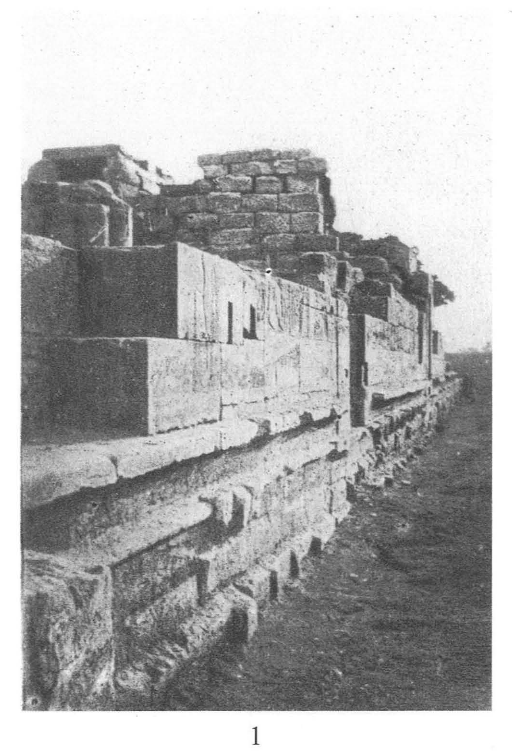


2

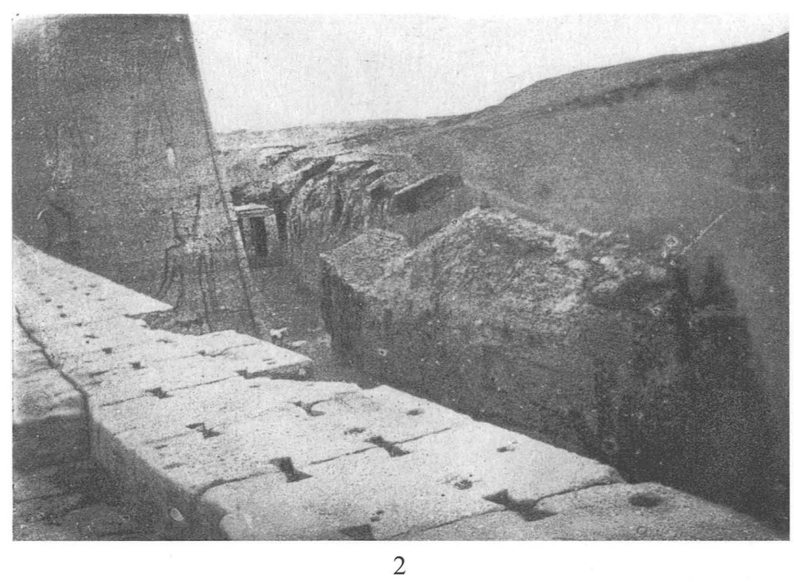
KARNAK

Lámina XIX

1. Pared compuesta por dos paramentos yuxtapuestos sin ligazón. Aparejo de juntas quebradas. Labra inacabada. (Luxor)
2. Anclajes de madera en forma de cola de milano. Anclajes de los andamios volantes. (Edfú)



1

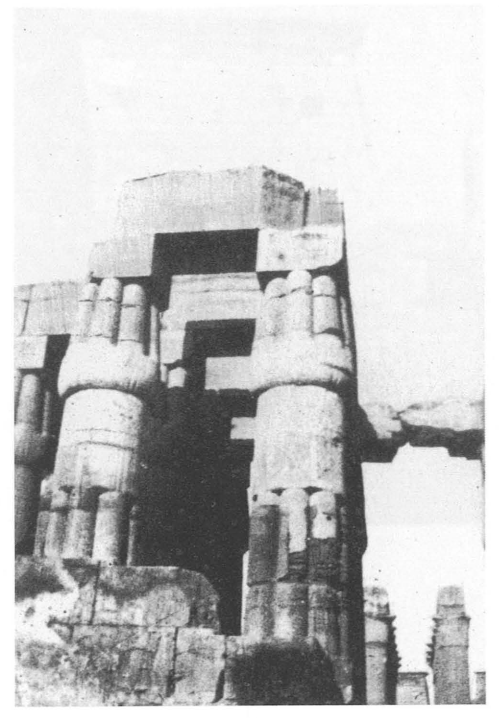


2

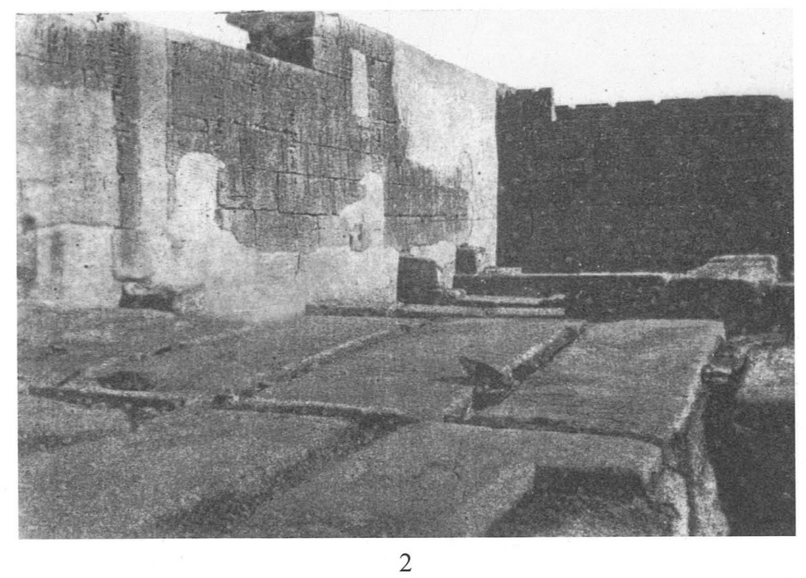
1 Luxor – 2 Edfú

Lámina XX

1. Aparejo de una columnata. Ensamble en bisel de los arquitrabes de esquina. (Luxor)
2. Construcción y estanqueidad de las terrazas (Medinet Habu)



1



2

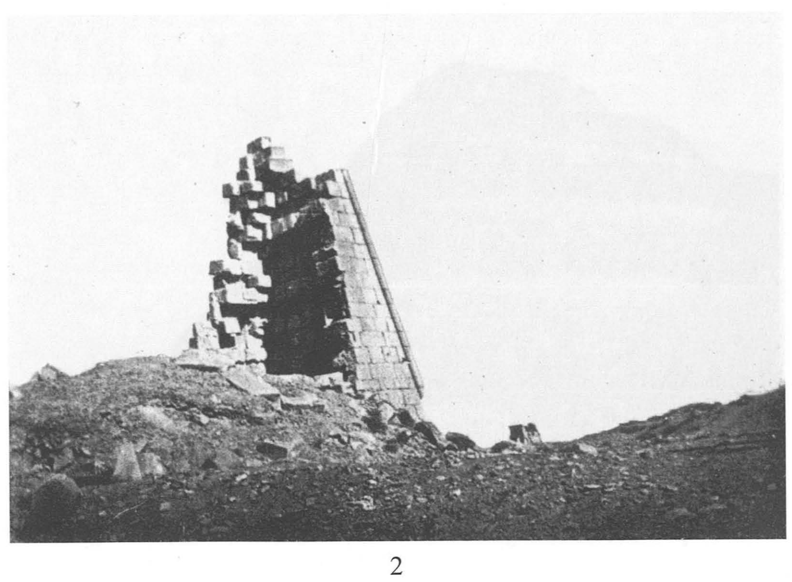
1 LUXOR – 2 MEDINET HABU

Lámina XXI

1. Pilono en Luxor. Ejemplo de las irregularidades en el aparejo en la época de Ramsés
2. Un pilono construido con un terraplén revestido de sillería. Estado de ruina causado por la desaparición del núcleo de tierra. (Karnak)



1

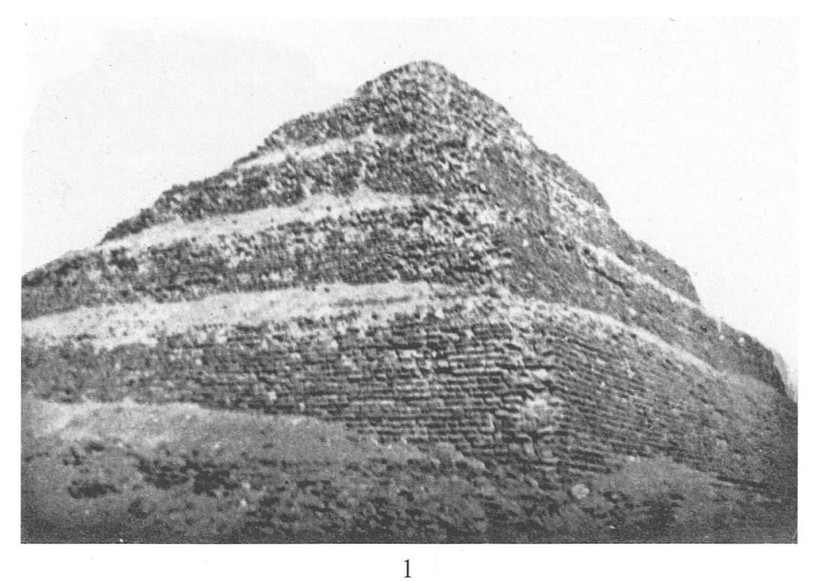


2

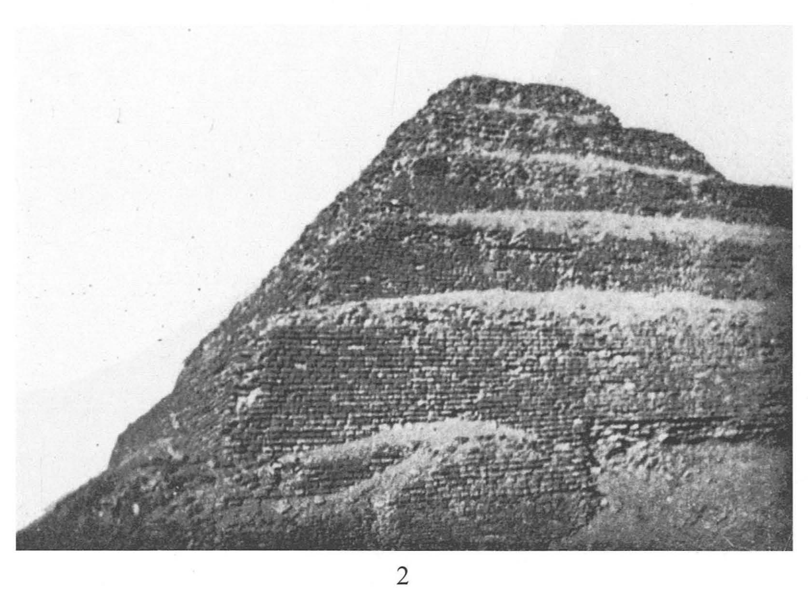
1 Luxor – 2 Karnak

Lámina XXII

1 y 2. Pirámide escalonada ejecutada por capas, que envuelve a las tumbas más antiguas, una de las cuales se distingue en los arranques (Sakara)



1

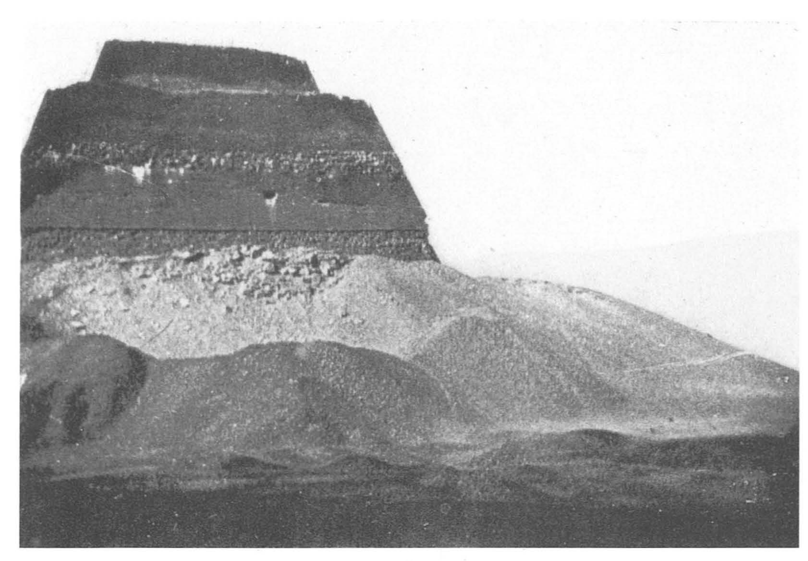


2

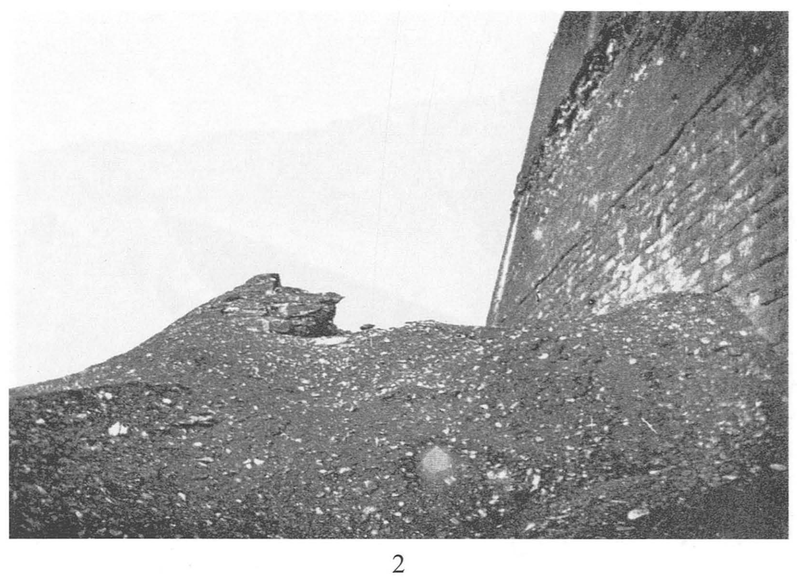
Sakara

Lámina XXIII

1 y 2. Pirámide escalonada, formada por la alternancia de una capa de fábrica maciza y dos capas de relleno entre paramentos. Escalonamiento de las gradas, marcado por bandas horizontales de paramento no labrado. (Meidum)



1

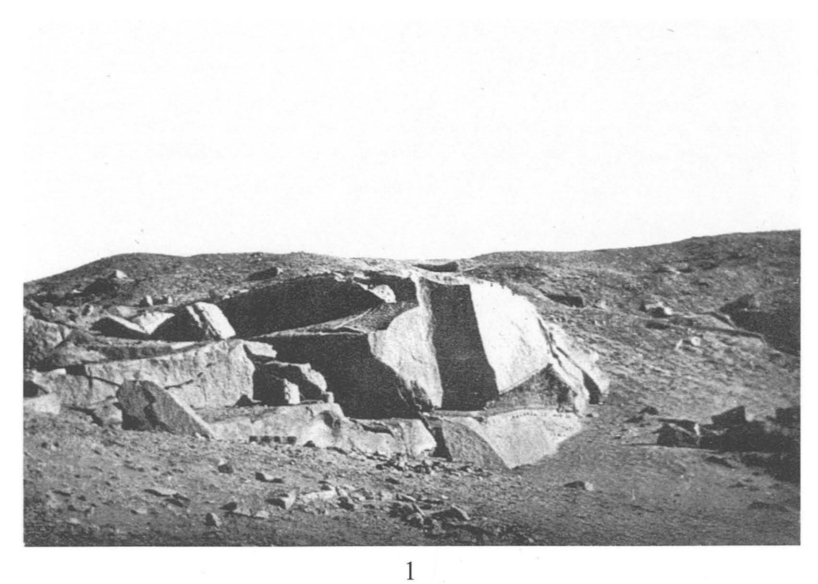


2

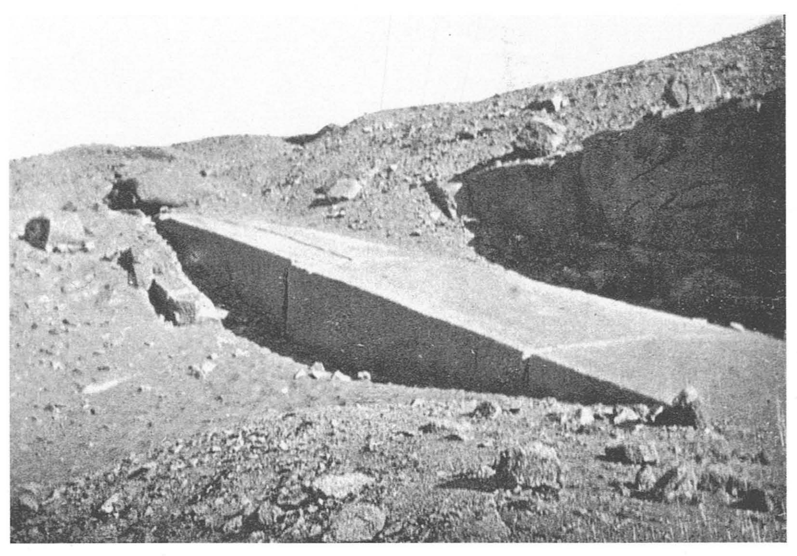
MEIDUM

Lámina XXIV

1 y 2. Trabajo en las canteras. Entalladuras abiertas para la extracción de los bloques de granito. Vista de un bloque extraído de forma incompleta. (Asuán)



1



2

Asuán

Textos Sobre Teoría e Historia de las Construcciones

F. Bores, J. Fernández Salas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Casas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

A. Choisy. **El arte de construir en Roma.**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio.**

A. Choisy. **El arte de construir en Egipto.**

A. Choisy. **Historia de la arquitectura.** (en preparación)

A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. A. Tabales, (Eds.). **Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

R. Guastavino. **Ensayo sobre la construcción cohesiva.**

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras.**

J. Heyman. **Vigas y pórticos.**

J. Heyman. **Análisis de estructuras. Un estudio histórico**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas.**

S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América.**

S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the First International Congress on Construction History.**

S. Huerta (Ed.). **Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción.**

S. Huerta (Ed.). **Essays in the history of the theory of structures.**

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII.**

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción.** (en preparación)

A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas.**

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval.**

H. J. W. Thunnissen. ***Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura.*** (en preparación)


ISBN 84-7790-425-1
9 788477 904250